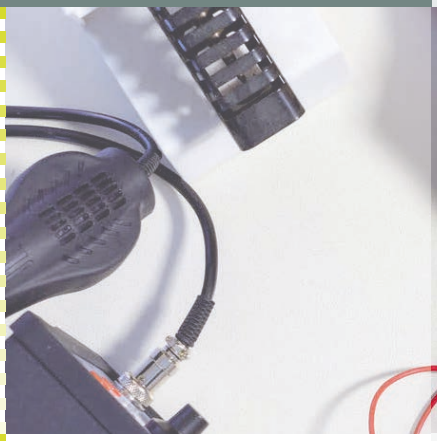
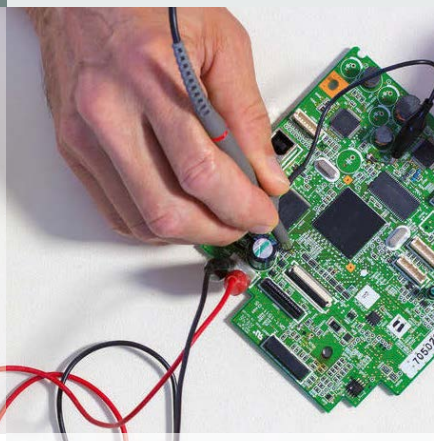
JUAN CARLOS MARTÍN CASTILLO

ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

# Electrónica





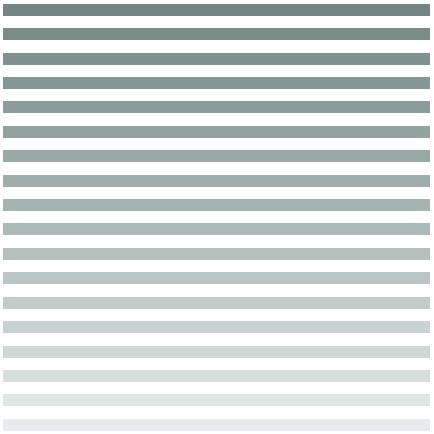
EDITEX

JUAN CARLOS MARTÍN CASTILLO

# Electrónica



EDITEX



# ÍNDICE


**1. Conceptos previos ..... 6**
1. Tipos de corriente eléctrica ..... 7
2. Circuito eléctrico ..... 7
3. Magnitudes eléctricas básicas ..... 10
4. Pilas y baterías ..... 14
5. Relaciones entre magnitudes eléctricas ..... 16
6. Señales periódicas ..... 18
7. Tipos de señales ..... 21

Práctica profesional resuelta:
- Cálculo de magnitudes básicas sobre un circuito eléctrico ..... 22

Test de evaluación ..... 24
Actividades finales ..... 25
Práctica profesional propuesta:
- Cálculo de magnitudes básicas en un circuito serie ..... 27
- Cálculo de magnitudes básicas en un circuito paralelo ..... 28

En resumen ..... 29

**2. El taller de electrónica ..... 30**
1. Herramientas ..... 31
2. Equipos de soldadura blanda ..... 32
3. Fuente de alimentación de laboratorio ..... 33
4. Instrumentos de medida ..... 33
5. El generador de funciones ..... 42
6. Placas de montaje de circuitos ..... 43
7. *Software* de diseño y simulación electrónica ..... 45

Práctica profesional resuelta:
- Medida de tensión y corriente en un circuito DC ..... 46

Test de evaluación ..... 48
Actividades finales ..... 49
Práctica profesional propuesta:
- Medidas en un circuito serie y en paralelo ..... 51
- Medidas simuladas en un circuito mixto de resistencias ..... 52
- En resumen ..... 53

**3. Componentes pasivos ..... 54**
1. Resistencias ..... 55
2. Condensadores (capacitadores) ..... 63
3. Inductancias o bobinas ..... 67
4. El transformador ..... 68
5. El relé ..... 69

Práctica profesional resuelta:
- Medidas en circuito de resistencias en serie ..... 70

Test de evaluación ..... 72
Actividades finales ..... 73
Práctica profesional propuesta:
- Medidas en circuito mixto de resistencias ..... 75
- Ajuste de tensión con potenciómetro ..... 76

En resumen ..... 77

**4. El diodo ..... 78**
1. Semiconductores ..... 79
2. El diodo ..... 79
3. Tipos de diodos ..... 81
4. Aplicaciones de los diodos ..... 88

Práctica profesional resuelta:
- Rectificador de media onda ..... 92

Test de evaluación ..... 94
Actividades finales ..... 95
Práctica profesional propuesta:
- Rectificador de onda completa ..... 97
- Experimentación con un LED RGB ..... 98

En resumen ..... 99

**5. El transistor ..... 100**
1. El transistor bipolar (BJT) ..... 101
2. Circuitos prácticos con transistores BJT ..... 110
3. El transistor de efecto de campo ..... 114
4. Circuitos prácticos con MOSFET ..... 117
5. Otros tipos de transistores ..... 121

Práctica profesional resuelta:
- Comprobación de un transistor BJT con polímetro ..... 122

Test de evaluación ..... 124
Actividades finales ..... 125
Práctica profesional propuesta:
- Comprobación de un transistor MOSFET con polímetro ..... 127
- Conmutación de un transistor MOSFET ..... 128

En resumen ..... 129

## 6. Fuentes de alimentación ..... 130

1. Introducción ..... 131
2. Fuentes de alimentación lineales ..... 131
3. Fuentes de alimentación conmutadas ..... 140

Práctica profesional resuelta:

- Experimentación sobre el filtrado en las fuentes de alimentación ..... 142

Test de evaluación ..... 144

Actividades finales ..... 145

Práctica profesional propuesta:

- Montaje de una fuente de alimentación para experimentación ..... 147
- Identificación de las partes de una fuente de alimentación conmutada ..... 148

En resumen ..... 149

## 7. Electrónica de potencia ..... 150

1. Introducción a la electrónica de potencia ..... 151
2. Aplicaciones de la electrónica de potencia ..... 151
3. Semiconductores de potencia ..... 152
4. Diodos de potencia ..... 153
5. Transistores ..... 154
6. Tiristor ..... 162

Práctica profesional resuelta:

- Uso de un tiristor SCR como conmutador ..... 168

Test de evaluación ..... 170

Actividades finales ..... 171

Práctica profesional propuesta:

- Comprobación de un tiristor con polímetro ..... 173
- Puente en H con transistores BJT ..... 174

En resumen ..... 175

## 8. Circuitos integrados ..... 176

1. ¿Qué es un circuito integrado? ..... 177
2. El amplificador operacional (AO) ..... 180
3. Circuito integrado 555 ..... 184
4. Otros circuitos integrados ..... 187

Práctica profesional resuelta:

- Diodos LED intermitentes con circuito integrado 555 ..... 188

Test de evaluación ..... 190

Actividades finales ..... 191

Práctica profesional propuesta:

- Circuito biestable con 555 ..... 193
- Sensor de luz con amplificador operacional ..... 194

En resumen ..... 195

## 9. Iniciación a la electrónica digital ..... 196

1. ¿Qué es la electrónica digital? ..... 197
2. Sistemas y códigos de numeración ..... 197
3. Lógica digital ..... 200
4. Circuitos integrados de puertas lógicas ..... 209
5. Montaje y comprobación con circuitos integrados digitales ..... 210

Práctica profesional resuelta:

- Comprobación de un circuito con puertas lógicas ..... 212

Test de evaluación ..... 214

Actividades finales ..... 215

Práctica profesional propuesta:

- Simulación de un circuito digital con puertas lógicas. 217
- Comprobación de circuitos lógicos equivalentes. 218

En resumen ..... 219

## 10. Circuitos digitales ..... 220

1. Introducción ..... 221
2. Circuitos combinacionales ..... 222
3. Circuitos secuenciales ..... 228

Práctica profesional resuelta:

- Comprobación de un decodificador de 2 entradas 4 salidas ..... 238

Test de evaluación ..... 240

Actividades finales ..... 241

Práctica profesional propuesta:

- Comprobación de un contador asíncrono de 2 bits 243
- Contador para *display* de 7 segmentos LED ..... 244

En resumen ..... 245

## Anexo. Tablas de referencia y fabricación de un circuito impreso ..... 246

1. Series de resistencias ..... 247
2. Identificación de resistencias SMD ..... 247
3. Fabricación de una placa de circuito impreso ..... 248
4. *Software* de simulación ..... 252
5. Identificación de los semiconductores por su código ..... 253
6. Valores comerciales de los diodos ZENER ..... 255

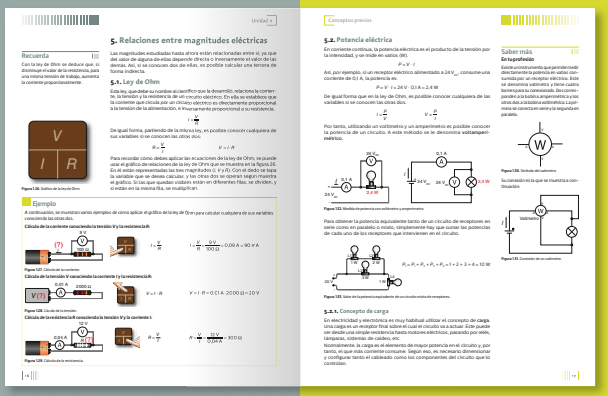
# ORGANIZACIÓN DE LA UNIDAD

Cada unidad didáctica se inicia con una gran imagen motivadora, un breve índice de contenidos con los epígrafes que presenta la unidad en el apartado **Vamos a conocer,** y los objetivos a alcanzar al término de la misma en el apartado **Y al finalizar esta unidad.**

A continuación comienza el **desarrollo de contenidos.** Para apoyar y reforzar los contenidos se presentan ejemplos, tablas, esquemas y numerosas ilustraciones, seleccionadas de entre los equipos y herramientas más frecuentes que te vas a encontrar al realizar tu trabajo.

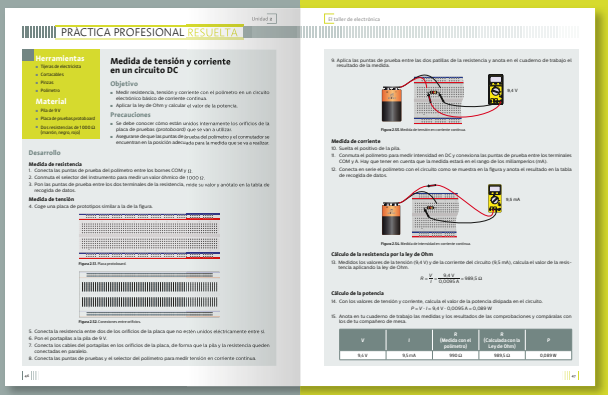
En los márgenes se desarrollan multitud de textos complementarios de ampliación de información, consejos de seguridad, vocabulario técnico, diccionario español-inglés y enlaces web, que permiten profundizar en los conocimientos expuestos.

A lo largo del texto se incorporan **casos, ejemplos** y **actividades** prácticas. Estas actividades por un lado, ayudan a asimilar los conceptos, y por otro, promueven la realización en el taller de los procesos explicados.




En la sección **Práctica profesional resuelta** se plantea el desarrollo de un caso práctico, en el que se describen las operaciones que se realizan, se detallan las herramientas y el material necesario, y se incluyen fotografías que ilustran los pasos a seguir.

Estas prácticas profesionales representan los resultados de aprendizaje que debes alcanzar al terminar tu módulo formativo.

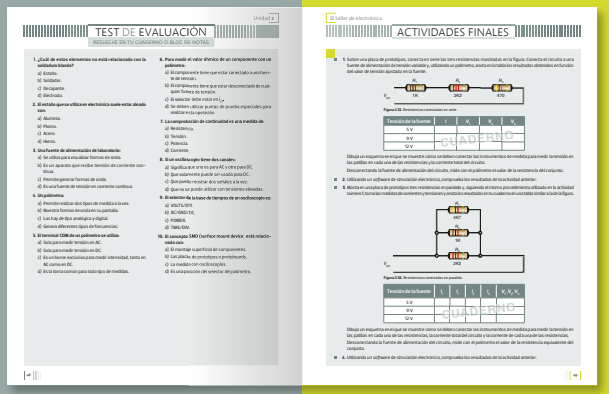


IMPORTANTE: Todas las actividades propuestas en este libro deben realizarse en un cuaderno de trabajo, **nunca en el propio libro.**

Regístrate en nuestra web y accede a los **recursos adicionales:** <www.editex.es>.

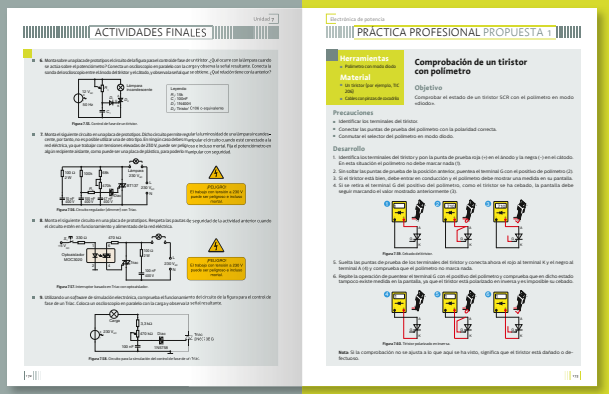
El **Test de evaluación** consta de una batería de preguntas centradas en los conceptos más importantes de la unidad. Este test permite comprobar el nivel de conocimientos adquiridos tras el estudio de la misma.

Tras ello se proponen una serie de **Actividades finales** para aplicar y repasar los conceptos y procedimientos explicados a lo largo de la unidad.

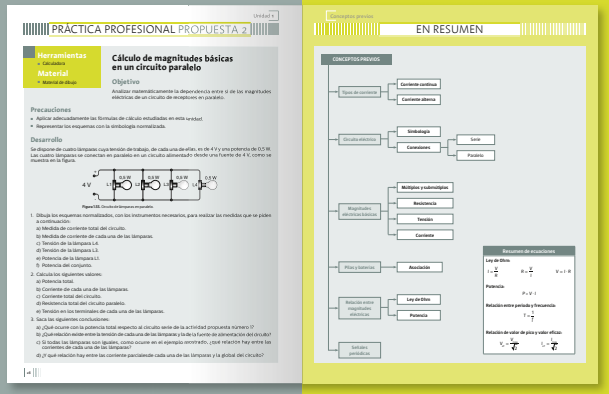



En la **Práctica profesional propuesta** se plantean actividades prácticas y, al igual que en la Práctica profesional resuelta, se detallan las herramientas y el material necesario para su desarrollo.

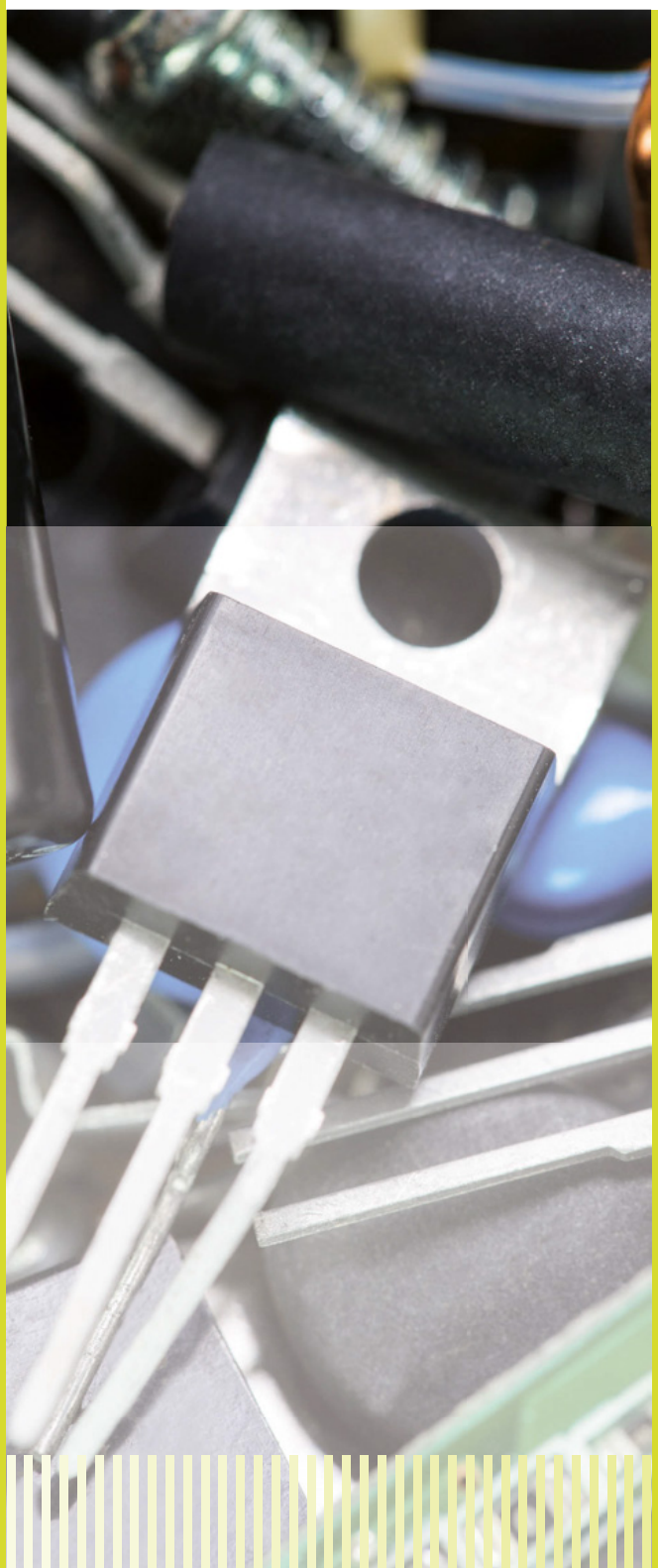
Con la práctica profesional propuesta se pretende potenciar tu autonomía y tu espíritu emprendedor, fomentando la metodología de aprender haciendo. Puedes descargarte estas páginas profesionales propuestas y otros recursos si te registras en nuestra web: <www.editex.es>.




La unidad finaliza con el apartado **En resumen,** un mapa conceptual que relaciona los conceptos claves de la unidad. Este apartado sirve para recapitular todo lo tratado en la unidad.



# 1 Conceptos previos



## Vamos a conocer...

1. Tipos de corriente eléctrica
2. Circuito eléctrico
3. Magnitudes eléctricas básicas
4. Pilas y baterías
5. Relaciones entre magnitudes eléctricas
6. Señales periódicas
7. Tipos de señales

PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA

Cálculo de magnitudes básicas sobre un circuito eléctrico

PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 1

Cálculo de magnitudes básicas en un circuito serie

PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 2

Cálculo de magnitudes básicas en un circuito paralelo

## Y al finalizar esta unidad...

- Conocerás cuáles son los dos tipos de corriente que existen.
- Interpretarás y representarás esquemas sencillos que utilizan simbología normalizada.
- Aprenderás las magnitudes básicas utilizadas en electricidad y electrónica y algunas de las relaciones que existen entre ellas.
- Sabrás cuáles son las unidades de medida de las magnitudes eléctricas y cuáles son sus múltiplos y submúltiplos.
- Analizarás qué es una señal periódica y cuáles son sus principales características.
- Identificarás los diferentes tipos de señales que se pueden utilizar en los circuitos analógicos y digitales.

# 1. Tipos de corriente eléctrica

La corriente eléctrica es el movimiento de cargas eléctricas a través de los conductores de un circuito. En función de cómo se produzca este movimiento, se pueden distinguir dos tipos de corriente: corriente continua y corriente alterna.

## 1.1. Corriente continua

La corriente continua, también denominada de forma abreviada CC (o DC por el acrónimo inglés), se genera en baterías, pilas, paneles solares, fuentes de alimentación, etc.

En un circuito de corriente continua el movimiento de cargas eléctricas se hace siempre en el mismo sentido. Es decir, solamente tiene una dirección. El movimiento de cargas (electrones) se hace desde el polo negativo al positivo, sin embargo, desde los albores de la electricidad, se estableció que el **sentido de la corriente** en un circuito eléctrico se hacía desde el polo positivo al polo negativo de la alimentación, y es la que aquí se va a utilizar, salvo que sea necesario hacer referencia al sentido electrónico de las cargas.

## 1.2. Corriente alterna

En la corriente alterna, también denominada CA (o AC en inglés), el movimiento de cargas se hace en ambos sentidos alternativamente. Las cargas se mueven en un segundo 50 veces en un sentido y 50 veces otro, y se denomina frecuencia. Así, la frecuencia de la red eléctrica es de cincuenta hercios (50 Hz) y el símbolo general de la corriente alterna es una sinusoide.

Los símbolos asociados a los tipos de corriente son:

**Figura 1.2.** Símbolos para los tipos de corriente.

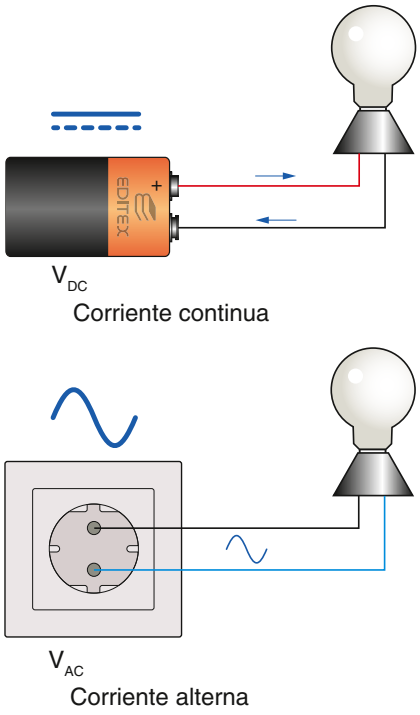



**Figura 1.1.** Tipos de corrientes.

# 2. Circuito eléctrico

Para que se produzca el desplazamiento de las cargas eléctricas, se requiere al menos una fuente de tensión, ya sea en CC o en CA, un receptor o carga eléctrica y un conjunto de cables o conductores eléctricos que los unan. Así, con esta combinación de elementos, se pueden dar dos situaciones: que el circuito esté cerrado, con el consiguiente desplazamiento de cargas actuando sobre los receptores, o que el circuito esté abierto, sin desplazamiento de cargas y sin actuación sobre los receptores.

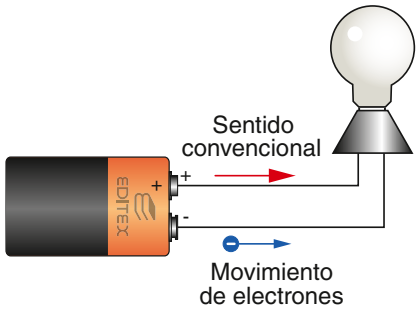



**Figura 1.3.** Sentido convencional de la corriente y sentido del movimiento de las cargas (electrones).

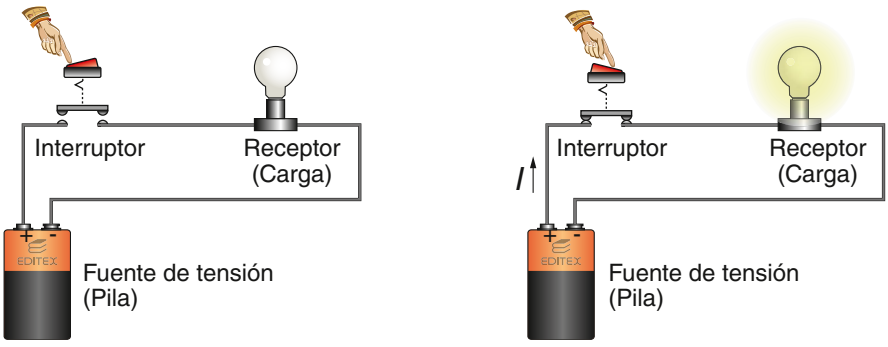



**Figura 1.4.** Circuito eléctrico básico.

## Saber más

En Europa la red eléctrica de corriente alterna tiene una frecuencia de 50 Hz y en Norteamérica de 60 Hz.

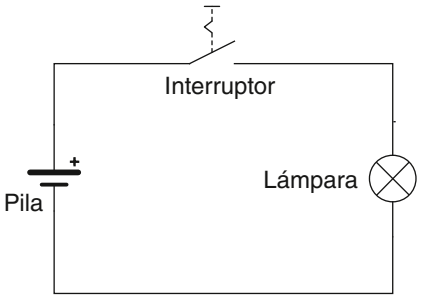



**Figura 1.5.** Esquema eléctrico básico.

## 2.1. Simbología eléctrica y electrónica

Los circuitos eléctricos y electrónicos se representan de forma esquemática mediante los símbolos de los componentes y sus conexiones entre ellos.

Los símbolos eléctricos y electrónicos están normalizados. Esto permite que cualquier técnico pueda interpretar el mismo esquema en cualquier parte del mundo.

En la actualidad existen dos estándares ampliamente utilizados para la representación de los esquemas electrónicos: el estándar **IEC,** de origen europeo, y el estándar **ANSI,** de procedencia norteamericana. En muchos aspectos son muy parecidos, pero en otros, como puede ser la representación simbólica, existen grandes diferencias entre ellos. Debido a la gran popularidad de ambos, se ha decidido añadir la simbología de los dos sistemas, aunque los esquemas estarán representados según el estándar IEC.

### 2.1.1. Representación de la fuente de tensión

Todos los circuitos electrónicos requieren, al menos, de un dispositivo de alimentación, bien en corriente continua o bien en corriente alterna. Por tanto, dicho elemento debe ser representado con claridad en el esquema utilizando los siguientes símbolos:

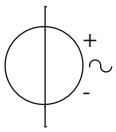
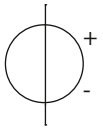
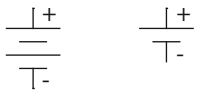
| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Fuente de tensión en corriente alterna |  | | V |
| Fuente de tensión en corriente continua |  | | V |
| Batería/Pila |  | | V |
| Tensión de referencia (varias formas) | | | V |
| Masa o GND (varias formas) | | | 0 |

**Tabla 1.1.** Representación de las fuentes de tensión.

En electrónica, cuando se utiliza un circuito de alimentación de corriente continua, es muy habitual emplear símbolos independientes para la tensión de alimentación con la que trabaja el circuito (por ejemplo, el positivo) y la masa de referencia (por ejemplo, el negativo) o *ground*.

En la siguiente figura, se muestran dos formas de representación de la alimentación de un circuito eléctrico. En el esquema de la izquierda, la alimentación se representa con una fuente de tensión definida, como puede ser una pila. Y en el esquema de la derecha, la fuente de tensión se muestra utilizando símbolos de referencia, tanto para el positivo como para el negativo.

## Vocabulary

- Corriente alterna (CA): *alternate current (AC).*
- Corriente continua (CC): *direct current (DC).*
- Batería: *batery.*
- Comprobación de continuidad: *continuity check.*
- Corriente: *current.*
- Dispositivo: *device.*
- Tierra o masa: *ground.*
- Batería baja: *low battery.*
- Fuente de alimentación: *power supply.*
- Potencia: *power.*
- Cortocircuito: *short circuit.*
- Fuentes: *sources.*
- Interruptor: *switch.*
- Apagar: *turn off.*
- Encender: *turn on.*
- Tensión o voltaje: *voltage.*

Ambos circuitos son válidos, pero el segundo es especialmente útil para facilitar la representación de grandes esquemas que trabajan con diferentes fuentes de tensión.

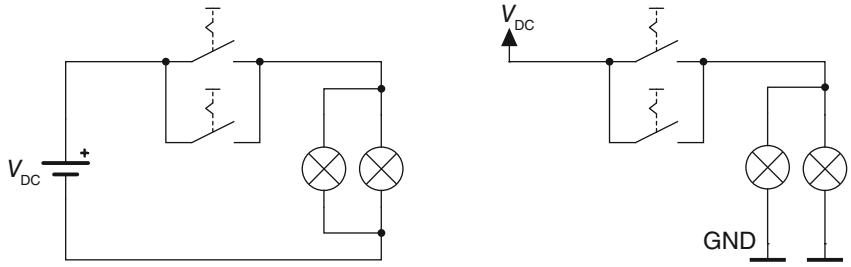



**Figura 1.6.** Dos formas de representar la alimentación de un circuito eléctrico.

## 2.2. Circuitos serie y paralelo

Los conceptos conexión serie y conexión paralelo son muy utilizados en electricidad y electrónica. Cualquier dispositivo, en algún momento, deberá conectarse de esta forma a otros elementos del circuito. Por este motivo, debes tener muy claro cómo se realizan y representan estos tipos de conexión, para entender los circuitos con los que trabajarás en las próximas unidades.

### 2.2.1. Conexión serie

Se dice que dos o más aparatos eléctricos están en serie cuando se une el final del primero con el principio del siguiente, y los extremos del circuito resultante se conectan a la alimentación.

En este caso, los elementos de circuito dependen unos de otros, de forma que, si uno de ellos falla, los otros dejarán de funcionar o alimentarse.

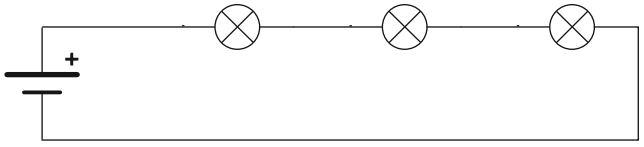



**Figura 1.7.** Esquema de conexión serie.

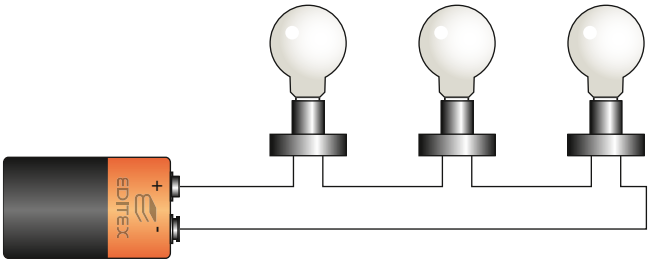



**Figura 1.8.** Receptores en serie.

### 2.2.2. Conexión paralelo o derivación

Se dice que dos o más aparatos eléctricos están conectados en paralelo cuando se unen todos sus principios a un mismo punto y todos sus finales a otro. En este caso, los elementos funcionan de forma totalmente independiente. Si uno de ellos está mal conectado o averiado, los otros continuarán trabajando.

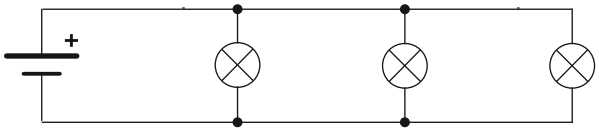



**Figura 1.9.** Esquema de conexión paralelo.

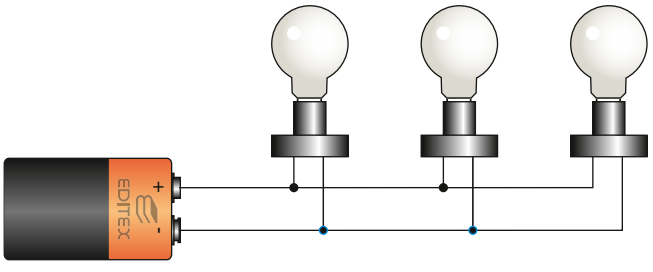



**Figura 1.10.** Receptores en paralelo.

# 3. Magnitudes eléctricas básicas

El montaje y reparación de circuitos electrónicos requiere conocer algunas de las magnitudes eléctricas básicas y sus unidades, así como el uso adecuado de los instrumentos para medirlas, tanto en corriente continua (CC) como en corriente alterna (CA).

## 3.1. Múltiplos y submúltiplos

En circuitos electrónicos que trabajan mediante fuentes de baja tensión, como pilas o baterías, los valores de los componentes que utilizan y las medidas de sus magnitudes suelen darse en múltiplos y submúltiplos de la unidad. Esto requiere conocer cuál es la relación que existe entre ellos, para así sustituir de forma adecuada el componente o identificar claramente el problema mediante una medida con un instrumento de comprobación. En electrónica es habitual hablar de miliamperios, picofaradios o megohmios.

A continuación, se muestra una tabla con los múltiplos y submúltiplos más utilizados en electricidad y electrónica, su símbolo y el factor que se debe aplicar. Existen otros, pero se han omitido al no ser de aplicación directa en el campo de la electricidad y la electrónica.

| | Factor | Prefijo | Símbolo |
|---|---|---|---|
| Múltiplos | $10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000$ | tera- | T |
| | $10^{9} = 1\,000\,000\,000$ | giga- | G |
| | $10^{6} = 1\,000\,000$ | mega- | M |
| | $10^{3} = 1\,000$ | kilo- | k |
| Unidad | $10^{0} = 1$ | | |
| Submúltiplos | $10^{-3} = 0{,}001$ | mili- | m |
| | $10^{-6} = 0{,}000\,001$ | micro- | μ |
| | $10^{-9} = 0{,}000\,000\,001$ | nano- | n |
| | $10^{-12} = 0{,}000\,000\,000\,001$ | pico- | p |

**Tabla 1.2.** Múltiplos y submúltiplos.

Así, para conocer cuál es la relación que tiene un múltiplo o submúltiplo con la unidad, se debe multiplicar por su factor. Véanse unos ejemplos:

- 1 k = 1000 unidades
- 3 μ = 0,000 003 unidades
- 6 G = 6 000 000 000 unidades
- 4 n = 0,000 000 004 unidades

## Actividades

**1.** Indica cuántas unidades son:

- 36 M, 45 m, 20 000 n, 120 u, 106 p.

## 3.2. Resistencia eléctrica

Todo cuerpo presenta una resistencia al paso de la corriente eléctrica. En función de que esa resistencia sea mayor o menor, la conducción de corriente se hace con mayor o menor dificultad. La resistencia eléctrica se mide en ohmios (Ω). Cuanto menor es el número de ohmios que presenta un cuerpo, mejor circula la corriente eléctrica a través de él. Por el contrario, cuanto mayor es el valor óhmico, más dificultad encuentra dicha corriente para circular por el cuerpo.

La resistencia eléctrica está presente, en mayor o menor medida, en todos los receptores y materiales que intervienen en un circuito electrónico. No obstante, existe un componente electrónico, que se denomina resistencia, el cual conocerás en detalle en la próxima unidad.

En la siguiente figura se muestran dos circuitos eléctricos con diferente valor resistivo en la carga. El circuito de la derecha presenta el doble valor óhmico que el de la derecha. Por tanto, en el primero la oposición al paso de la corriente es menor, aumentando la corriente, y en el segundo es mayor, disminuyéndola.

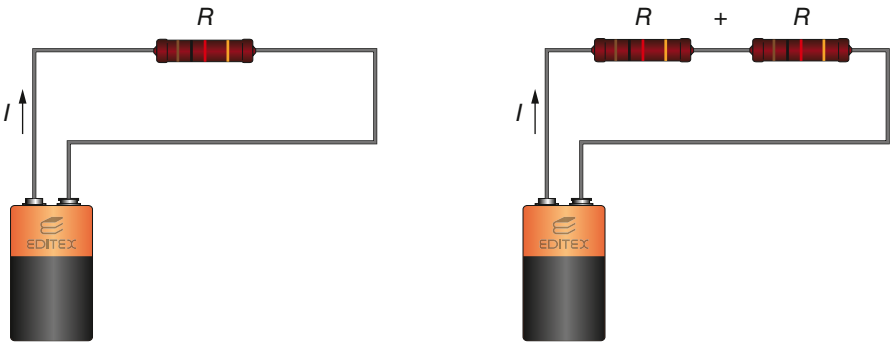



**Figura 1.12.** Circuitos eléctricos con menor y mayor resistencia.

### 3.2.1. Impedancia (*Z*)

Algunos receptores, como condensadores y bobinas, que conocerás en próximas unidades, no se comportan de la misma forma en los circuitos de corriente continua que en los de corriente alterna. Por este motivo, el concepto de «resistencia», que se estudia en corriente continua, no es del todo válido en corriente alterna, ya que cambia sustancialmente, y se denomina **impedancia.**

La impedancia, que se representa con la letra *Z*, es la oposición que encuentran los receptores conectados en un circuito de corriente alterna, y se mide, también, en ohmios.

Así, ya que a lo largo del libro aparecerá de forma reiterada el nombre de «impedancia», debes asociar dicho concepto con un valor óhmico, que está en un circuito que trabaja con una señal periódica similar a la de corriente alterna.

## 3.3. Intensidad de corriente

La cantidad de cargas que circulan por un circuito eléctrico por unidad de tiempo recibe el nombre de intensidad de corriente. Esta se mide con un instrumento denominado amperímetro y tiene como unidad el amperio (A). No obstante, en muchos de los circuitos de los equipos electrónicos, es habitual la medida en miliamperios (mA) e incluso microamperios (uA).

### Recuerda

El óhmetro, también denominado ohmímetro, es el instrumento destinado a medir la resistencia eléctrica.

**Figura 1.11.** Símbolo del óhmetro.

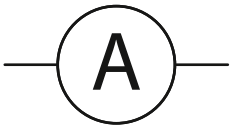



**Figura 1.13.** Símbolo del amperímetro.

### 3.3.1. Medida de la intensidad de corriente

El amperímetro se conecta en serie con la carga. Por tanto, es necesario cortar o desconectar algún conductor eléctrico para su utilización. Así, si se desea medir la intensidad de corriente que atraviesa una lámpara, el amperímetro se debe conectar en serie con ella.

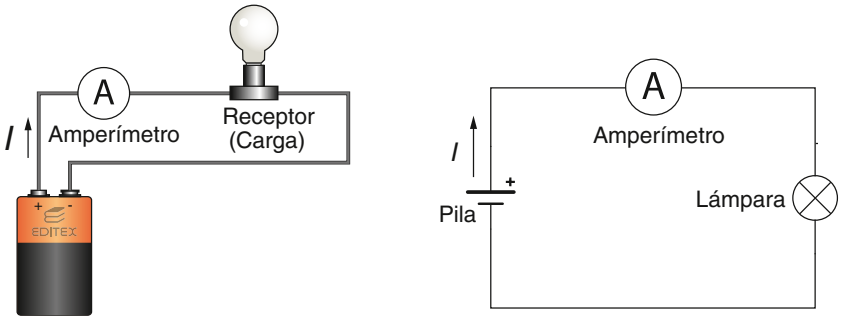



**Figura 1.14.** Conexión en serie del amperímetro y su esquema.

### 3.3.2. La intensidad en un circuito de receptores en serie

En un circuito serie, la corriente del circuito es la misma que la que recorre todos sus receptores.

**Figura 1.15.** Amperímetro de cuadro.

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

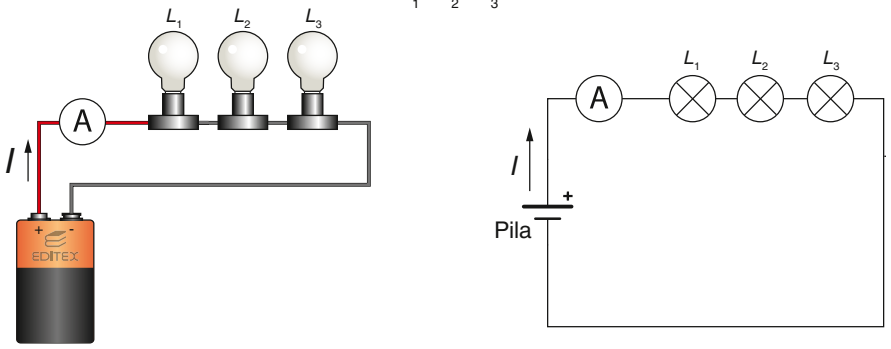



**Figura 1.16.** Corriente en un circuito de receptores en serie.

### 3.3.3. La intensidad en un circuito paralelo

En un circuito paralelo, la corriente se divide en cada una de las ramas en función del consumo de cada uno de sus receptores. Así, la intensidad total es la suma de las intensidades parciales.

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

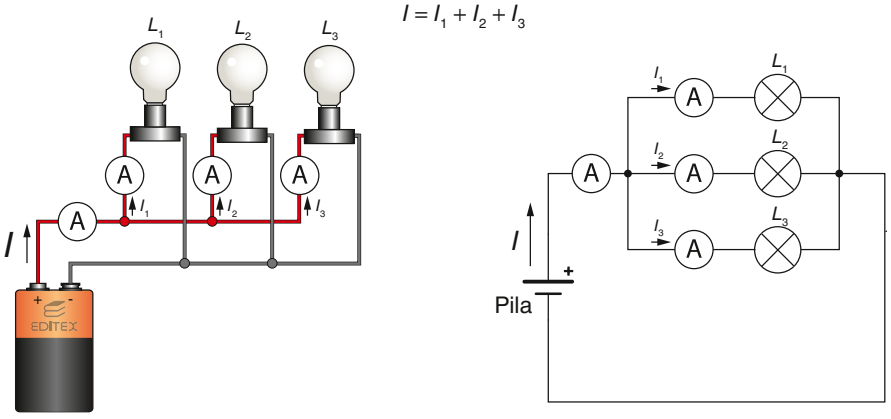



**Figura 1.17.** Corriente en un circuito de receptores en paralelo.

## 3.4. Voltaje o tensión eléctrica

En un circuito eléctrico, las cargas circulan siempre que existe una diferencia de potencial entre dos de sus puntos. Esa diferencia de potencial se denomina **tensión eléctrica** o **voltaje.**

**Figura 1.18.** Símbolo del voltímetro.

### 3.4.1. Medida de la tensión eléctrica

La tensión se mide en **voltios** (V), con un instrumento denominado voltímetro. Este se conecta en paralelo entre los dos puntos con diferente potencial. Así, si se desea conocer la tensión que hay entre la fase y el neutro de una red de alimentación, se debe conectar cada una de las puntas de prueba del voltímetro a cada uno de los bornes de la red.

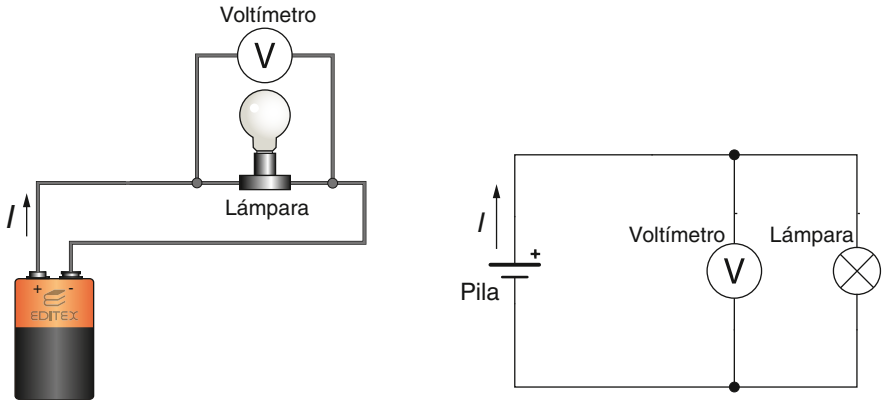



**Figura 1.20.** Conexión del voltímetro.

**Figura 1.19.** Voltímetro de cuadro.

### 3.4.2. Voltaje en un circuito de receptores en serie

En un circuito serie, la tensión de la red se reparte entre cada uno de los receptores que en él intervienen, en función de las características eléctricas de los mismos. Así, la suma de las tensiones parciales da como resultado la tensión total, que es la de la red del circuito.

En este caso, cada receptor produce una caída de tensión en sus bornes.

### 3.4.3. Medida de voltaje en un circuito de receptores en paralelo

En un circuito paralelo, las tensiones en los bornes de los receptores y la de la red de alimentación son iguales.

Las tensiones parciales, independientemente del tipo de receptor y su potencia, son las mismas en todos ellos.

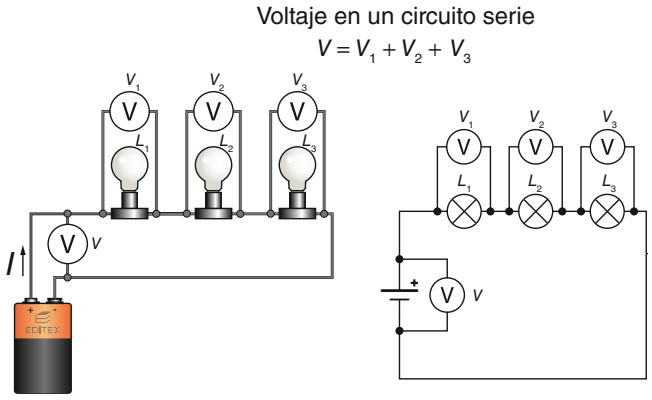



**Figura 1.21.** Medida de tensión en un circuito con receptores serie.

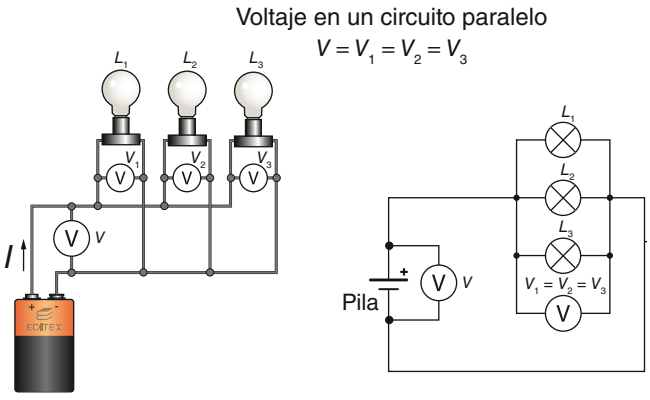



**Figura 1.22.** Medida de tensiones en un circuito de receptores en paralelo.

# 4. Pilas y baterías

Las pilas y baterías (también denominadas acumuladores) son generadores químicos de corriente continua que permiten acumular energía eléctrica y usarla en un dispositivo electrónico móvil cuando sea oportuno.

Aunque a veces se las denomina de la misma manera, una pila y una batería son dos dispositivos diferentes. La pila no pierde energía si no se usa y, sin embargo, la batería sí lo hace, aunque sus terminales no estén conectados al circuito que alimenta. Además, las baterías son recargables y las pilas no. En cualquier caso, tanto las pilas como las baterías tienen dos terminales polarizados (denominados polos), a los cuales se conecta al circuito de utilización.

Las principales características de las pilas y baterías son:

- **Diferencia de potencial o tensión:** es la tensión máxima en voltios que se puede medir entre sus polos.
- **Corriente:** es el valor máximo en amperios (o miliamperios) que es capaz de entregar al circuito.
- **Resistencia interna:** es el valor resistivo en ohmios que presenta ante el paso de la corriente a través de ellas.

## Saber más

La capacidad de carga que tiene una batería se da en amperios o miliamperios hora (Ah o mAh).

Así, cuanto mayor es este valor, para las mismas condiciones de uso, mayor es la cantidad de electricidad que puede almacenar en la batería, y, por tanto, mayor es también el tiempo empleado en su descarga.

## 4.1. Asociación de pilas y baterías

De igual forma que otros dispositivos eléctricos y electrónicos, las pilas y baterías pueden asociarse entre sí para cambiar, en este caso, las características de salida del circuito que forman.

Es importante tener en cuenta que para poder realizar la asociación de pilas y baterías, todos los dispositivos deben tener idénticas características, ya que si esto no es así, alguno de ellos actuará como receptor en lugar como generador, absorbiendo energía de los demás.

### 4.1.1. Asociación serie

La conexión en serie de pilas y baterías debe hacerse conectando el polo positivo de la primera pila con el negativo de la siguiente, y así sucesivamente, de forma que el conjunto se comporte como una sola batería, cuya tensión es la suma de las tensiones individuales de cada una de las pilas asociadas.

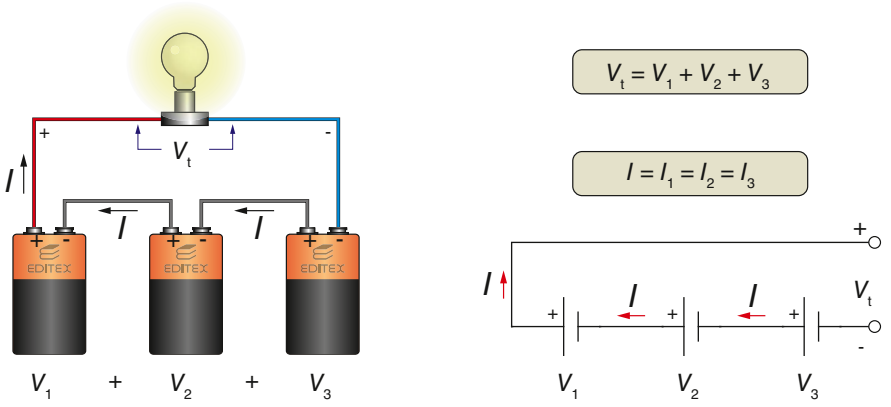



**Figura 1.23.** Asociación de pilas en serie.

En este caso, al estar conectadas en serie, la corriente que circula por el circuito es la misma que tiene cualquiera de las pilas individuales.

### 4.1.2. Asociación paralelo

La conexión en paralelo se realiza uniendo todos los polos positivos en un punto común y todos los negativos en otro. De esta forma, el conjunto se comporta también como una sola batería, cuya tensión es la misma que la de cualquiera de ellas, pero, en este caso, la corriente entregada por el conjunto es la suma de las corrientes individuales de cada una de las baterías.

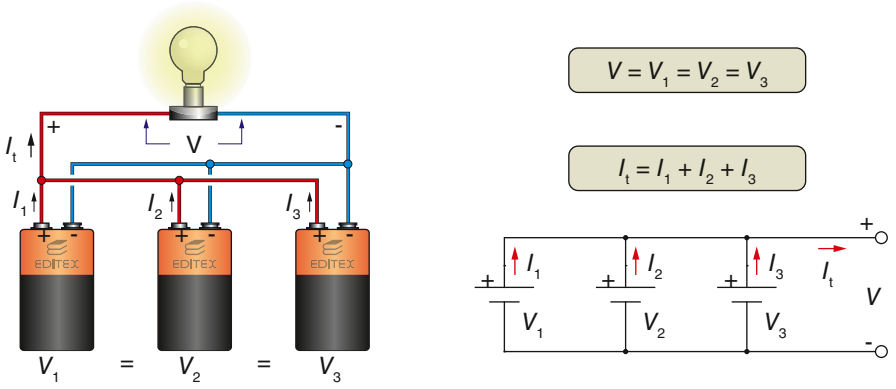



**Figura 1.24.** Asociación en paralelo de baterías.

### 4.1.3. Asociación mixta

La conexión mixta de pilas o baterías consiste en conectar en paralelo dos o más circuitos de baterías en serie. De esta forma, el conjunto se comporta como una sola batería, en la que la tensión y la corriente resultantes son mayores que las de cualquiera de los dispositivos individuales. La tensión viene dada por las baterías asociadas en serie, y la corriente por bloques conectados en paralelo.

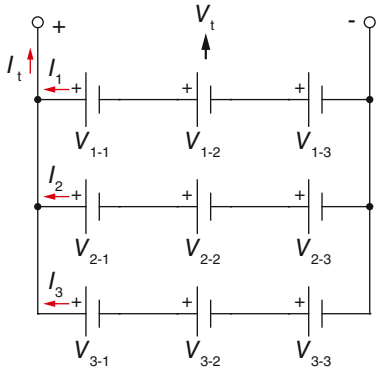



**Figura 1.25.** Asociación mixta de baterías.

En el ejemplo de la figura, se observa un circuito de tres ramas de baterías en serie, que, a su vez, están conectas en paralelo entre sí. Así, si cada batería es de, por ejemplo, 3 V y 1 A, cada rama en serie entregará 9 V y 1 A, por lo que el conjunto será de 9 V y 3 A.

## Actividades

**2.** Observando el ejemplo de la figura de la asociación mixta de baterías, di cuáles serán las características de salida sabiendo que cada batería es:

- Caso 1: de 1,5 V y 0,5 A.
- Caso 2: de 12 V y 2 A.

## Saber más

### En tu profesión

Lo visto para las pilas y baterías es igualmente válido para otros tipos de fuentes o generadores de energía, siempre que todos los elementos asociados tengan las mismas características eléctricas. Así, para aumentar la tensión, se asocian los generadores en serie. Para aumentar la corriente, se asocian en paralelo.

# 5. Relaciones entre magnitudes eléctricas

Las magnitudes estudiadas hasta ahora están relacionadas entre sí, ya que del valor de alguna de ellas depende directa o inversamente el valor de las demás. Así, si se conocen dos de ellas, es posible calcular una tercera de forma indirecta.

## 5.1. Ley de Ohm

Esta ley, que debe su nombre al científico que la desarrolló, relaciona la corriente, la tensión y la resistencia de un circuito eléctrico. En ella se establece que la corriente que circula por un circuito eléctrico es directamente proporcional a la tensión de la alimentación, e inversamente proporcional a su resistencia.

$$I = \frac{V}{R}$$

De igual forma, partiendo de la misma ley, es posible conocer cualquiera de sus variables si se conocen las otras dos:

$$R = \frac{V}{I} \qquad V = I \cdot R$$

Para recordar cómo debes aplicar las ecuaciones de la ley de Ohm, se puede usar el gráfico de relaciones de la ley de Ohm que se muestra en la figura 26. En él están representadas las tres magnitudes (*I*, *V* y *R*). Con el dedo se tapa la variable que se desea calcular, y las otras dos se operan según muestra el gráfico. Si las que quedan visibles están en diferentes filas, se dividen, y si están en la misma fila, se multiplican.

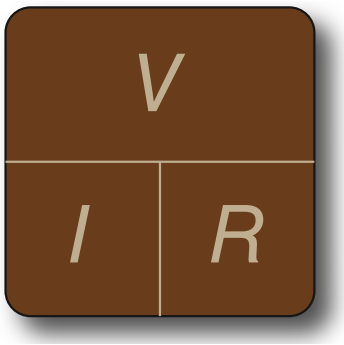



**Figura 1.26.** Gráfico de la ley de Ohm.

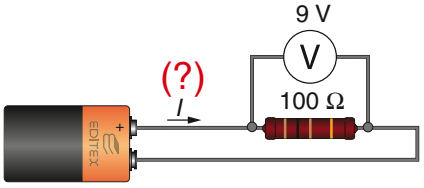
### Recuerda

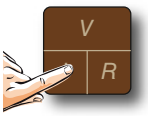
Con la ley de Ohm se deduce que, si disminuye el valor de la resistencia, para una misma tensión de trabajo, aumenta la corriente proporcionalmente.

### Ejemplo

A continuación, se muestran varios ejemplos de cómo aplicar el gráfico de la ley de Ohm para calcular cualquiera de sus variables conociendo las otras dos.

**Cálculo de la corriente conociendo la tensión V y la resistencia R:**

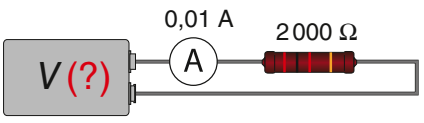



$$I = \frac{V}{R} \qquad I = \frac{V}{R} = \frac{9\ \text{V}}{100\ \Omega} = 0{,}09\ \text{A} = 90\ \text{mA}$$

**Figura 1.27.** Cálculo de la corriente.

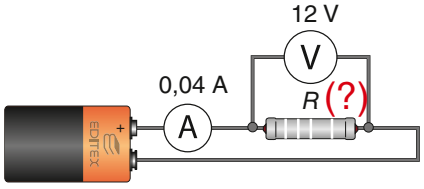
**Cálculo de la tensión V conociendo la corriente I y la resistencia R:**

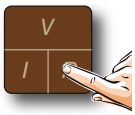


$$V = I \cdot R \qquad V = I \cdot R = 0{,}01\ \text{A} \cdot 2000\ \Omega = 20\ \text{V}$$

**Figura 1.28.** Cáculo de la tensión.

**Cálculo de la resistencia R conociendo la tensión V y la corriente I:**




$$R = \frac{V}{I} \qquad R = \frac{V}{I} = \frac{12\ \text{V}}{0{,}04\ \text{A}} = 300\ \Omega$$

**Figura 1.29.** Cálculo de la resistencia.

## 5.2. Potencia eléctrica

En corriente continua, la potencia eléctrica es el producto de la tensión por la intensidad, y se mide en vatios (W).

$$P = V \cdot I$$

Así, por ejemplo, si un receptor eléctrico alimentado a 24 $V_{DC}$, consume una corriente de 0,1 A, la potencia es:

$$P = V \cdot I = 24\ V \cdot 0{,}1\ A = 2{,}4\ W$$

De igual forma que en la ley de Ohm, es posible conocer cualquiera de las variables si se conocen las otras dos.

$$I = \frac{P}{V} \qquad V = \frac{P}{I}$$

Por tanto, utilizando un voltímetro y un amperímetro es posible conocer la potencia de un circuito. A este método se le denomina **voltamperimétrico**.

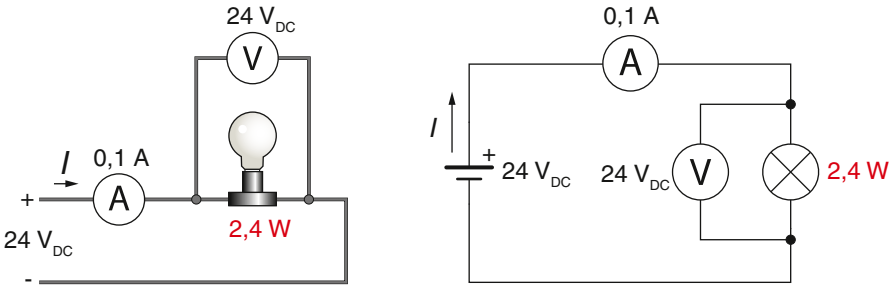
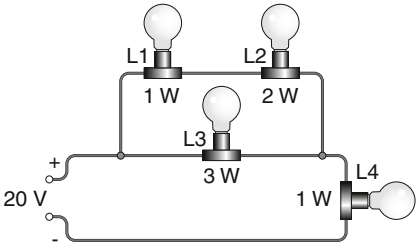



**Figura 1.32.** Medida de potencia con voltímetro y amperímetro.

Para obtener la potencia equivalente tanto de un circuito de receptores en serie como en paralelo o mixto, simplemente hay que sumar las potencias de cada uno de los receptores que intervienen en el circuito.




$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1 + 2 + 3 + 4 = 10\ W$$

**Figura 1.33.** Valor de la potencia equivalente de un circuito mixto de receptores.

### 5.2.1. Concepto de carga

En electricidad y electrónica es muy habitual utilizar el concepto de **carga**. Una carga es un receptor final sobre el cual el circuito va a actuar. Este puede ser desde una simple resistencia hasta motores eléctricos, pasando por relés, lámparas, sistemas de caldeo, etc.

Normalmente, la carga es el elemento de mayor potencia en el circuito y, por tanto, el que más corriente consume. Según eso, es necesario dimensionar y configurar tanto el cableado como los componentes del circuito que lo controlan.

## Saber más

### En tu profesión

Existe un instrumento que permite medir directamente la potencia en vatios consumida por un receptor eléctrico. Este se denomina vatímetro y tiene cuatro bornes para su conexionado. Dos corresponden a la bobina amperimétrica y los otros dos a la bobina voltimétrica. La primera se conecta en serie y la segunda en paralelo.

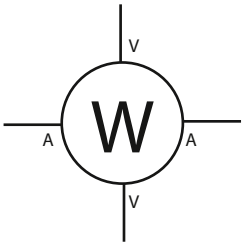



**Figura 1.30.** Símbolo del vatímetro

Su conexión es la que se muestra a continuación:

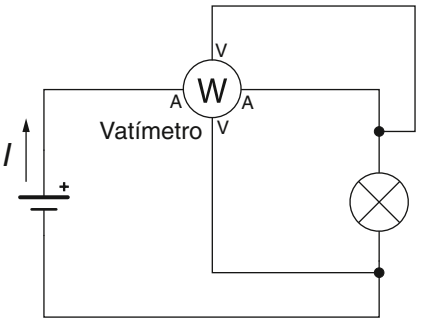



**Figura 1.31.** Conexión de un vatímetro.

# 6. Señales periódicas

Se dice que una onda es periódica cuando un patrón geométrico se repite en intervalos de tiempo iguales. En electrónica se utilizan multitud de tipos de señales de este tipo, bien para hacer funcionar los circuitos o bien para su comprobación mediante los instrumentos pertinentes.

## 6.1. Características de las señales periódicas

Las principales características de este tipo de señales son:

### 6.1.1. Formas de onda

Es la forma geométrica que presenta la señal. Aunque con los instrumentos adecuados sería posible generar casi cualquier forma de onda de tipo periódico, las más usuales en electrónica son las siguientes:

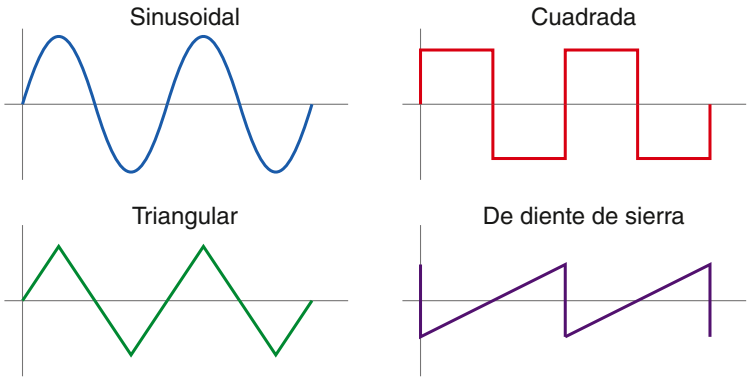



**Figura 1.34.** Formas de onda.

### 6.1.2. Amplitud

Es el valor máximo de la señal medida. Se mide entre el eje central y la cresta de uno de sus semiciclos. En el caso de la tensión, se da en voltios, y en el de la corriente, en amperios.

### 6.1.3. Ciclo

Es la forma geométrica completa de la señal antes de que vuelva a repetirse. Así, un ciclo tiene dos crestas, una positiva y otra negativa. Por tanto, se puede decir que la mitad de un ciclo es un semiciclo positivo, y el otro un semiciclo negativo.

### 6.1.4. Periodo (*T*)

Es el tiempo transcurrido entre dos puntos semejantes de la onda. Se representa como *T* y se mide en segundos. También se puede decir que es el tiempo en el que se ejecuta un ciclo completo.

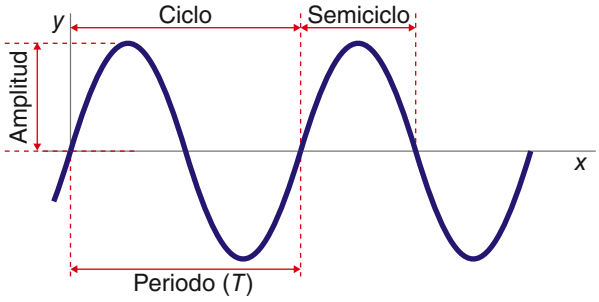



**Figura 1.36.** Características de una forma sinusoidal.

## Saber más

En la próxima unidad conocerás un instrumento denominado osciloscopio que permite visualizar formas de onda procedentes de una o más señales eléctricas.

**Figura 1.35.** Osciloscopio.

### 6.1.5. Frecuencia (*f*)

Es el número de periodos de la señal por unidad de tiempo. Se representa con *f* y la unidad es el hercio (Hz).

En el caso de la figura, la onda de color azul es de menor frecuencia que la verde, ya que tiene menos ciclos en el mismo periodo de tiempo.

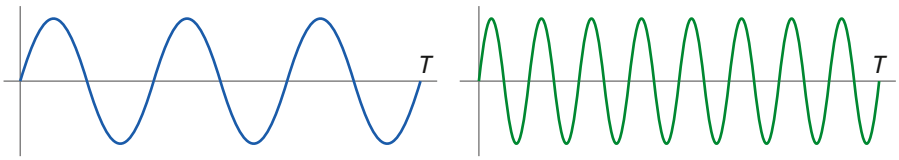



**Figura 1.37.** Comparación de dos ondas de distinta frecuencia.

El periodo es inversamente proporcional a la frecuencia.

$$T = \frac{1}{f}$$

### 6.1.6. Desfase

Si se comparan dos ondas y ambas coinciden en un instante con el mismo valor, se dice que las señales están en fase. Sin embargo, si dicho valor no coincide, se dice que las señales están desfasadas.

El valor del desfase se suele dar como un ángulo en grados. Así, 360° es un ciclo completo, por tanto, para un semiciclo son 180°. De esta forma, si una señal está desfasada respecto a otra, se dice que está adelantada o atrasada un determinado número de grados, en el que los valores instantáneos idénticos de ambas señales tienen diferente valor.

Fíjate en la siguiente figura de dos señales sinusoidales que tienen la misma amplitud:

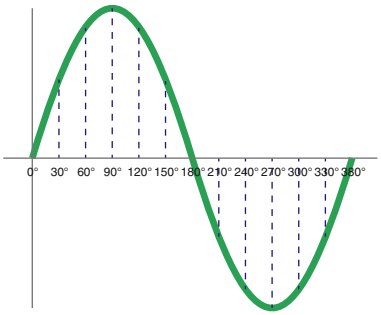



**Figura 1.38.** Graduación en grados de una señal sinusoidal.

En el **caso A** se muestra que la señal de color azul está desfasada, y atrasada 60° respecto a la de color verde. Sin embargo, en el **caso B** es la señal azul la que se encuentra adelantada 90° respecto a la de color azul.

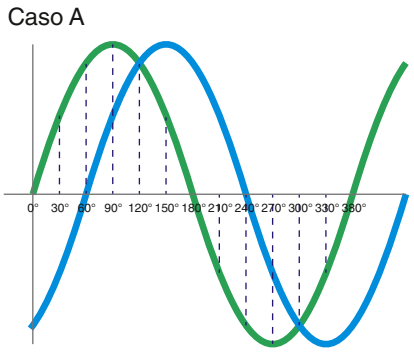



**Figura 1.39.** Señal desfasada 60°.

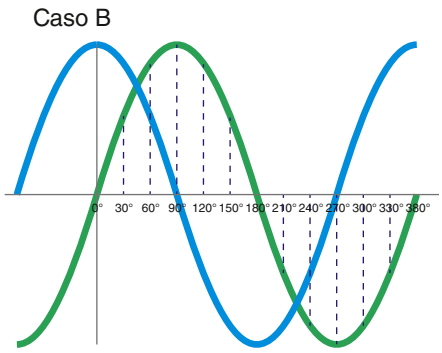



**Figura 1.40.** Señal desfasada 90°.

## Actividades

**3.** Calcula cuál es el tiempo del periodo para señales generadas a las siguientes frecuencias: 60 Hz, 100 Hz, 1 kHz, 20 Hz y 200 MHz.

## 6.2. Particularizando en la señal de corriente alterna

Como ya habrás observado, la señal de la corriente alterna es de tipo sinusoidal. Por tanto, estamos en condiciones de analizar algunas de sus características eléctricas.

### 6.2.1. Frecuencia

La corriente alterna de la red eléctrica tiene una frecuencia fija de 50 Hz (60 Hz en Norteamérica), por lo que un ciclo siempre se ejecuta en 0,02 s, es decir en 20 ms.

Si bien en las instalaciones eléctricas domésticas no es habitual cambiar la frecuencia de la alimentación, sí que es mucho más frecuente en aplicaciones industriales.

### 6.2.2. Valor de tensión o corriente

El valor de la amplitud se conoce como el valor máximo o de pico. Sin embargo, si se utiliza un voltímetro para medir la tensión de un circuito de corriente alterna, se puede comprobar que el valor medido es inferior a dicho valor de pico.

A este valor se le denomina valor eficaz o RMS, siendo aplicable tanto en tensión como en corriente.

La relación entre el valor de pico y el valor eficaz es:

## Saber más

**En tu profesión**

RMS viene del inglés *root mean square* (raíz media cuadrática).

En tensión:

$$V_{ef} = \frac{V_{máx}}{\sqrt{2}}$$

En corriente:

$$I_{ef} = \frac{I_{máx}}{\sqrt{2}}$$

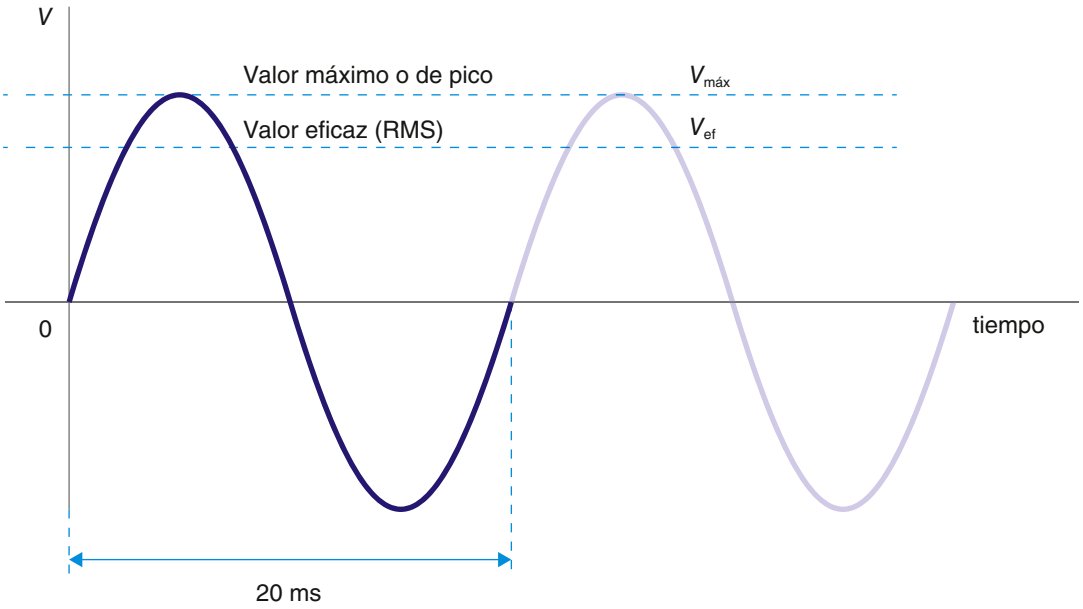



**Figura 1.41.** Relación entre el valor de pico y el eficaz.

## Actividades

**4.** Sabiendo que $\sqrt{2} = 1{,}414$, calcula cuál es el valor de pico para los siguientes valores eficaces de tensión en corriente alterna:

- 12 V, 24 V, 230 V, 400 V, 600 V.

**5.** Sabiendo que el $V_{máx} = V_{ef} \cdot \sqrt{2}$, di cuáles son los valores de pico de los siguientes valores eficaces de tensión y corriente:

- Tensión: 0,71 V, 23 V, 121 V, 256 V.
- Corriente: 0,7 mA, 120 mA, 1 A, 1,2A, 10A.

# 7. Tipos de señales

En función de cómo evolucione en el tiempo el valor de una señal, esta puede clasificarse como analógica o digital.

## 7.1. Señales digitales

Son señales que trabajan con dos posibles valores: el máximo (1) o el mínimo (0). El máximo se consigue aplicando todo el valor en voltios de la fuente de tensión, y el mínimo retirando dicho valor.

En este tipo de señales no existe la posibilidad de utilizar valores intermedios, por eso también se conocen como señales **todo** o **nada**.

## 7.2. Señales analógicas

Son señales que varían en el tiempo de forma continua, pudiendo alcanzar múltiples valores dentro de un rango de tensión o de corriente.

Así, por ejemplo, si se dispone una fuente analógica de 0 a 10 V, podríamos hacer que un circuito reaccionase de forma diferente en función de valores intermedios de la señal, y no solo de los valores mínimo y máximo, como ocurre en las señales digitales.

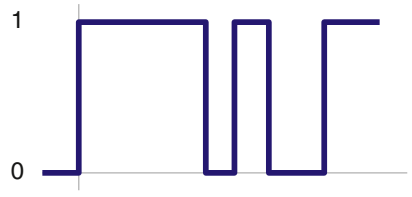



**Figura 1.42.** Señal digital.

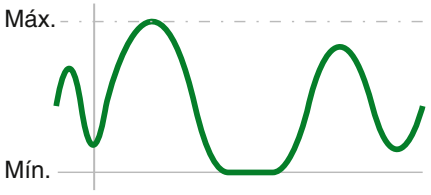



**Figura 1.43.** Señal analógica.

A modo de ejemplo, se muestra el siguiente símil eléctrico en el que se observa cómo sería un circuito con señales digitales o señales analógicas, para controlar una lámpara.

En el primer caso, correspondiente a lo que sería un circuito digital, solamente es posible encender la lámpara con su máxima luminosidad cuando el interruptor está cerrado (1), o apagarla por completo cuando el interruptor está abierto (0).

En el segundo caso, lo que sería el equivalente a un circuito analógico, la luminosidad de la lámpara será mayor o menor en función del valor de tensión entregado por el circuito regulador.

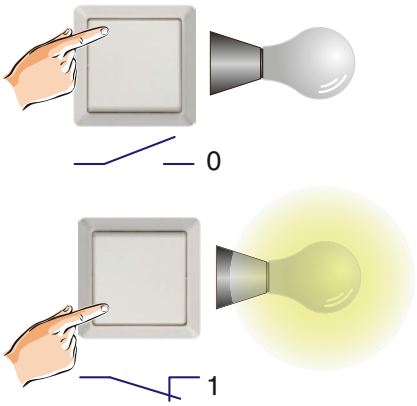



**Figura 1.44.** Símil digital.

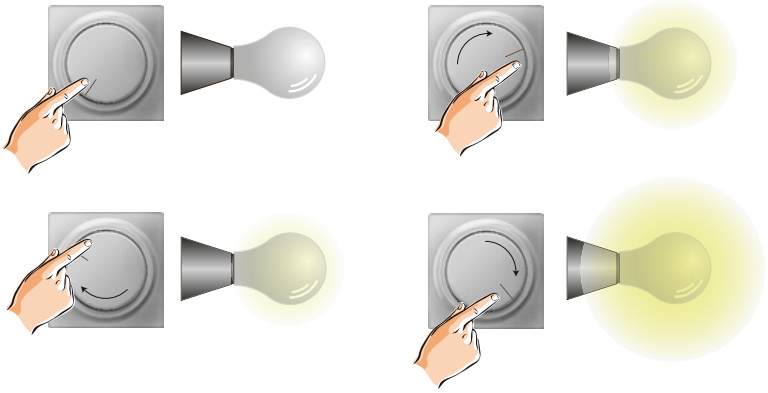


**Figura 1.45.** Símil analógico.

### Saber más

En electrónica suelen hacerse dos grandes grupos tecnológicos: electrónica digital y electrónica analógica. Reciben esos nombres debido al tipo de señales con las que trabajan sus circuitos.

En este libro se estudian los conceptos básicos de ambas tecnologías.

# PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA

## Herramientas
- Calculadora

## Material
- Material de dibujo

# Cálculo de magnitudes básicas sobre un circuito eléctrico

## Objetivo

Interpretar esquemas y analizar matemáticamente la dependencia entre sí de las magnitudes eléctricas de un circuito.

## Precauciones

- Aplicar de forma adecuada las fórmulas de cálculo estudiadas en esta unidad.
- Representar esquemas con la simbología normalizada.

## Desarrollo

Se dispone de una lámpara cuya tensión de trabajo es de 4,5 V y tiene una potencia de 0,5 W. Lo que significa que si la lámpara es conectada a su tensión de trabajo, se encenderá con la máxima luminosidad, ya que consume la potencia para la que ha sido diseñada.

- Calcula la corriente en que consume (en A y mA), cuando la lámpara es conectada a un fuente de tensión de corriente continua, y la resistencia interna que presenta el filamento.
- Dibuja el esquema normalizado con los instrumentos necesarios para realizar las medidas.
- Obtén las siguientes conclusiones:

  a) ¿Qué ocurre con el valor óhmico del filamento de la lámpara si cambia el valor de la tensión de la pila?

  b) ¿Cómo afecta a la corriente y a la potencia la disminución del voltaje de la pila?

  c) ¿En qué rango de unidades deben estar las magnitudes para poder operar entre ellas?

  d) ¿Es posible analizar lo que ocurre en el circuito sin probarlo experimentalmente?

**Caso 1**

Lámpara conectada a una pila completamente cargada con 4,5 V.

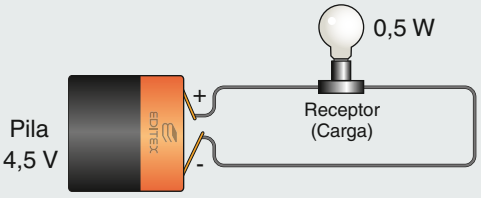



**Figura 1.46.** Circuito para analizar.

1. Dibuja en tu cuaderno el esquema con los instrumentos de medida que serían necesarios si el montaje se comprobara de forma experimental en el laboratorio.

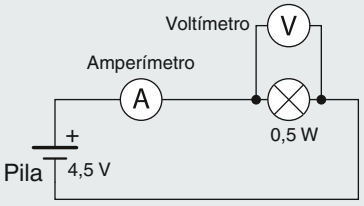



**Figura 1.47.** Esquema del circuito.

2. Ya que se dispone de los datos suficientes para cálculo matemático, no es necesario realizar el circuito experimentalmente.

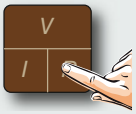
3. Conociendo la potencia de la lámpara y la tensión de la pila, es posible calcular la corriente que circula en el circuito. Sabiendo que $P = V \cdot I$, se despeja $I$ de la ecuación y se obtiene el valor de la corriente:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{0{,}5\ \text{W}}{4{,}5\ \text{V}} = 0{,}111\ \text{A}$$

4. El resultado obtenido está en amperios. Para pasar a miliamperios, es necesario multiplicar el resultado por el factor 1000, ya que 1 A tiene 1000 mA. Es decir:

$$I = 0{,}111\ \text{A} \cdot 1000 = 111\ \text{mA}$$

5. Una vez conocida la corriente en amperios, es posible calcular, por la ley de Ohm, la resistencia en ohmios que tiene la lámpara. Para ello se utiliza el gráfico de la ley de Ohm visto en la unidad.




$$R = \frac{V}{I} \qquad R = \frac{V}{I} = \frac{4{,}5\ \text{W}}{0{,}111\ \text{A}} = 40{,}54\ \Omega$$

Nota: para que el resultado sea en ohmios, es necesario que la tensión esté en voltios y la corriente en amperios.

6. El valor óhmico del filamento de la resistencia es fijo, ya que está asignado cuando se construye. Así, aunque se modifiquen los valores de tensión y de corriente del circuito, el valor óhmico se mantiene inalterable.

**Caso 2**

La pila se ha ido descargando y, por tanto, ha bajado su valor de tensión a 2,5 V.

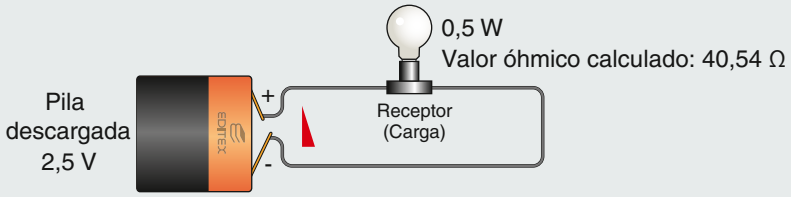
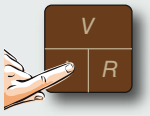



**Figura 1.48.**

7. Como el valor óhmico de la resistencia es fijo, que en este caso es 40,54 Ω, es posible calcular el valor de la corriente que circula en el circuito aplicando el gráfico de la ley de Ohm:




$$I = \frac{V}{R} \qquad I = \frac{V}{R} = \frac{2{,}5\ \text{W}}{40{,}54\ \Omega}\ ;\ 0{,}062\ \Omega$$

Es decir, la corriente que circula ahora por el circuito es de 61 mA.

8. Así, conociendo el valor de la corriente en amperios, la potencia consumida por la lámpara a 2,5 V es:

$$P = V \cdot I = 2{,}5\ \text{V} \cdot 0{,}062\ \text{A} = 0{,}155\ \text{W}$$

9. Si se pasa dicho valor a milivatios, la potencia es de aproximadamente:

$$P = 0{,}155\ \text{W} \cdot 1000 = 155\ \text{mW}$$

**Conclusiones**

1. La resistencia no cambia aunque cambien las características eléctricas del circuito que lo alimenta.
2. Si se disminuye la tensión en un circuito en el que no se sustituye la carga o el receptor, la corriente también disminuye y, por tanto, también lo hace la potencia consumida.
3. En ocasiones es más cómodo expresar las unidades en submúltiplos, para comprender mejor las características de funcionamiento del circuito, pero hay que tener en cuenta que para aplicar las expresiones de cálculo, todas las magnitudes deben estar en las mismas unidades.
4. En muchas ocasiones, para conocer los datos eléctricos de un circuito, no es necesario montarlo experimentalmente.

# TEST DE EVALUACIÓN

RESUELVE EN TU CUADERNO O BLOC DE NOTAS

1. **Si en un esquema aparece la nomenclatura $V_{DC}$, estamos hablando de:**
   a) Intensidad en corriente alterna.
   b) Intensidad en corriente continua.
   c) Tensión en corriente alterna.
   d) Tensión en corriente continua.

2. **El sentido de movimiento de los electrones en un circuito de corriente continua es:**
   a) Del positivo al negativo.
   b) Del negativo al positivo.
   c) Indiferente.
   d) Unas veces en un sentido y otras en el sentido contrario.

3. **Si un circuito tiene tres lámparas en serie alimentadas por una pila de 6 V, en los bornes de cada lámpara hay:**
   a) 2 V.
   b) 2 A.
   c) 6 V.
   d) 3 V.

4. **Cuanto más resistencia tiene un circuito eléctrico:**
   a) Mayor es la tensión.
   b) Mejor circula la corriente.
   c) Peor circula la corriente.
   d) No ocurre nada en especial.

5. **Según la ley de Ohm:**
   a) $I = V / R$.
   b) $I = V \cdot R$.
   c) $V = I \cdot R$.
   d) $R = V \cdot I$.

6. **El producto de la tensión por la corriente es:**
   a) La resistencia.
   b) La frecuencia
   c) La potencia.
   d) El número de voltios con los que trabaja el circuito.

7. **El valor resistivo de un receptor eléctrico se mide con:**
   a) El óhmetro.
   b) El voltímetro.
   c) El amperímetro.
   d) El vatímetro.

8. **El voltímetro se conecta:**
   a) En serie.
   b) En paralelo.
   c) Tiene dos circuitos, uno serie y otro paralelo.
   d) Desconectando la alimentación del circuito.

9. **40 mA son:**
   a) 40 A.
   b) 0,004 A.
   c) 0,4 A.
   d) 0,04 A.

10. **Si en un circuito la potencia del receptor es de 40 W y la tensión de alimentación es de 100 $V_{DC}$, ¿cuál es el valor de la corriente?**
    a) 400 mA.
    b) 40 mA.
    c) 4 A.
    d) 40 A.

# ACTIVIDADES FINALES

**1.** Dibuja los esquemas de los siguientes circuitos eléctricos alimentados con una pila de 9 V y compara si coinciden con los de tu compañero:

a) Tres lámparas en serie con dos interruptores en paralelo.

b) Una lámpara con tres interruptores en serie.

c) Dos lámparas en paralelo con dos interruptores en serie.

d) Un bloque de dos lámparas en paralelo en serie con otro bloque de dos lámparas en paralelo, controladas mediante un pulsador.

**2.** Expresa en unidades los siguientes múltiplos y submúltiplos y compáralos con tu compañero:

- 3 M
- 3,8 M
- 3 p
- 20 μ
- 25 m
- 4,5 k
- 50 k
- 150 p
- 0,3 k
- 1 000 m
- 4 m
- 0,5 m

**3.** Fíjate en el circuito de la figura y dibuja en tu cuaderno el esquema con los instrumentos necesarios para realizar las siguientes medidas eléctricas:

a) Tensión de las lámparas L3, L2, L5 y L6.

b) Corriente de las lámparas L1, L2, L4 y L6.

c) Corriente total del circuito.

d) Potencia total del circuito medida con un vatímetro.

e) Potencia de la rama de lámparas L1 y L3 que están en paralelo.

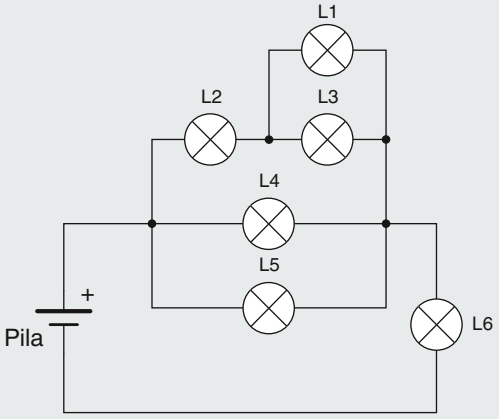



**Figura 1.49.**

**4.** Fíjate en los datos de la figura y calcula la tensión que tiene la pila sabiendo que la corriente que circula por el circuito es de 550 mA y la resistencia del filamento es de 60 Ω.

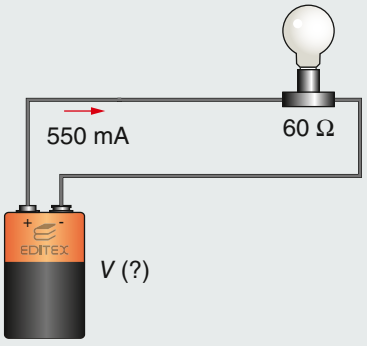



**Figura 1.50.**

# ACTIVIDADES FINALES

**5.** Fíjate en circuito de la figura y calcula lo siguiente:

a) La potencia de cada una de las ramas de las lámparas en serie.

b) La corriente de cada una de las ramas en las que las lámparas están conectadas en serie.

c) La potencia equivalente del circuito.

d) La resistencia de cada una de estas ramas.

e) La corriente total del circuito.

f) La resistencia de todo el circuito de lámparas.

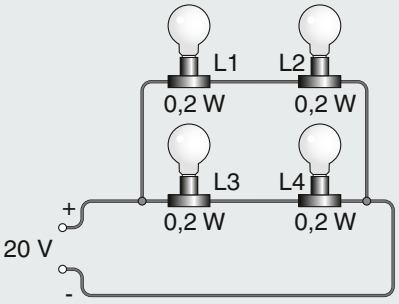



**Figura 1.51.**

**6.** Sabiendo que las tres lámparas son iguales y que en los bornes de una de ellas se ha medido 8 V ($V_2$), ¿cuál es valor de la tensión entregada por la pila?

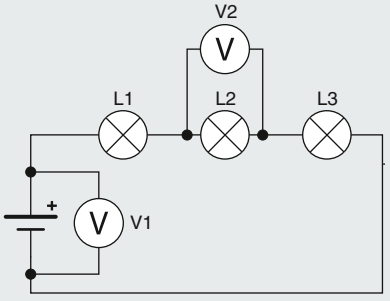



**Figura 1.52.**

**7.** Calcula la potencia del siguiente circuito sabiendo que el amperímetro marca 30 mA, el voltímetro 9 V y que las tres lámparas son iguales.

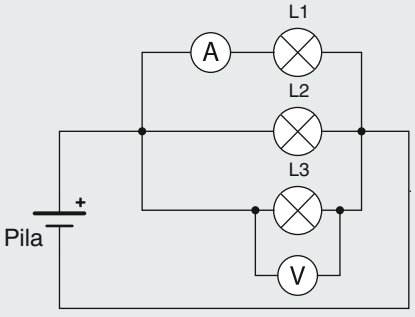



**Figura 1.53.**

**8.** Se dispone de un buen número de baterías de idénticas características: 2 V – 100 mA. Si se desea alimentar un circuito que necesita 6 V y 0,3 A, ¿cuál debe ser la asociación entre dichas baterías para conseguir un sistema de alimentación con dichas características? Dibuja el esquema.

**9.** ¿Cómo se deben asociar cuatro baterías de 6 V y 1 A para conseguir un circuito sistema de alimentación de 12 V y 2 A? Dibuja el esquema.

# PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 1

## Herramientas

- Calculadora

## Material

- Material de dibujo

# Cálculo de magnitudes básicas en un circuito serie

## Objetivo

Analizar matemáticamente la dependencia entre sí de las magnitudes eléctricas de un circuito serie.

## Precauciones

- Aplicar de forma adecuada las fórmulas de cálculo estudiadas en esta unidad.
- Representar los esquemas con la simbología normalizada.

## Desarrollo

Se dispone de cuatro lámparas cuya tensión de trabajo es de 4 V y con una potencia de 0,5 W si las cuatro lámparas se conectan en serie en un circuito alimentado por 16 V.

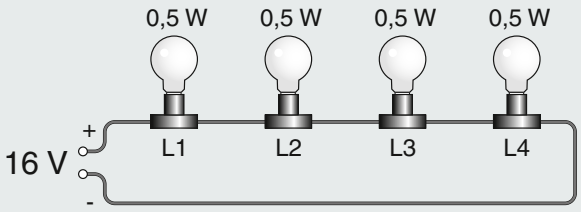



**Figura 1.54.** Circuito de lámparas en serie.

1. Dibuja los esquemas normalizados, con los instrumentos necesarios, para realizar las medidas que se piden a continuación:
   a) Medida de corriente del circuito.
   b) Tensiones de las lámparas L2 y L3.
   c) Medida de potencia de la lámpara L4.
   d) Medida la potencia de la lámpara L1.
   e) Medida de potencia del conjunto serie de L2 y L3.
2. Calcula:
   a) Potencia total.
   b) Corriente del circuito.
   c) Resistencia total del circuito serie.
   d) Tensión en los terminales de cada una de las lámparas.
3. Saca las siguientes conclusiones:
   a) Conociendo el valor de la resistencia total del circuito, ¿qué ocurre con la corriente si la tensión disminuye a la mitad, es decir, a 8 V?
   b) ¿Y con la potencia total?
   c) Si todas las lámparas son iguales, como ocurre en el ejemplo, ¿qué relación hay entre las tensiones de cada una de las lámparas?
   d) ¿Y qué relación hay entre las tensiones parciales de las lámparas y la tensión de alimentación?

# PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 2

## Herramientas

- Calculadora

## Material

- Material de dibujo

# Cálculo de magnitudes básicas en un circuito paralelo

## Objetivo

Analizar matemáticamente la dependencia entre sí de las magnitudes eléctricas de un circuito de receptores en paralelo.

## Precauciones

- Aplicar adecuadamente las fórmulas de cálculo estudiadas en esta unidad.
- Representar los esquemas con la simbología normalizada.

## Desarrollo

Se dispone de cuatro lámparas cuya tensión de trabajo, de cada una de ellas, es de 4 V y una potencia de 0,5 W. Las cuatro lámparas se conectan en paralelo en un circuito alimentado desde una fuente de 4 V, como se muestra en la figura.

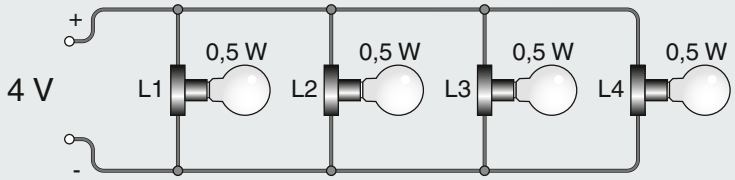
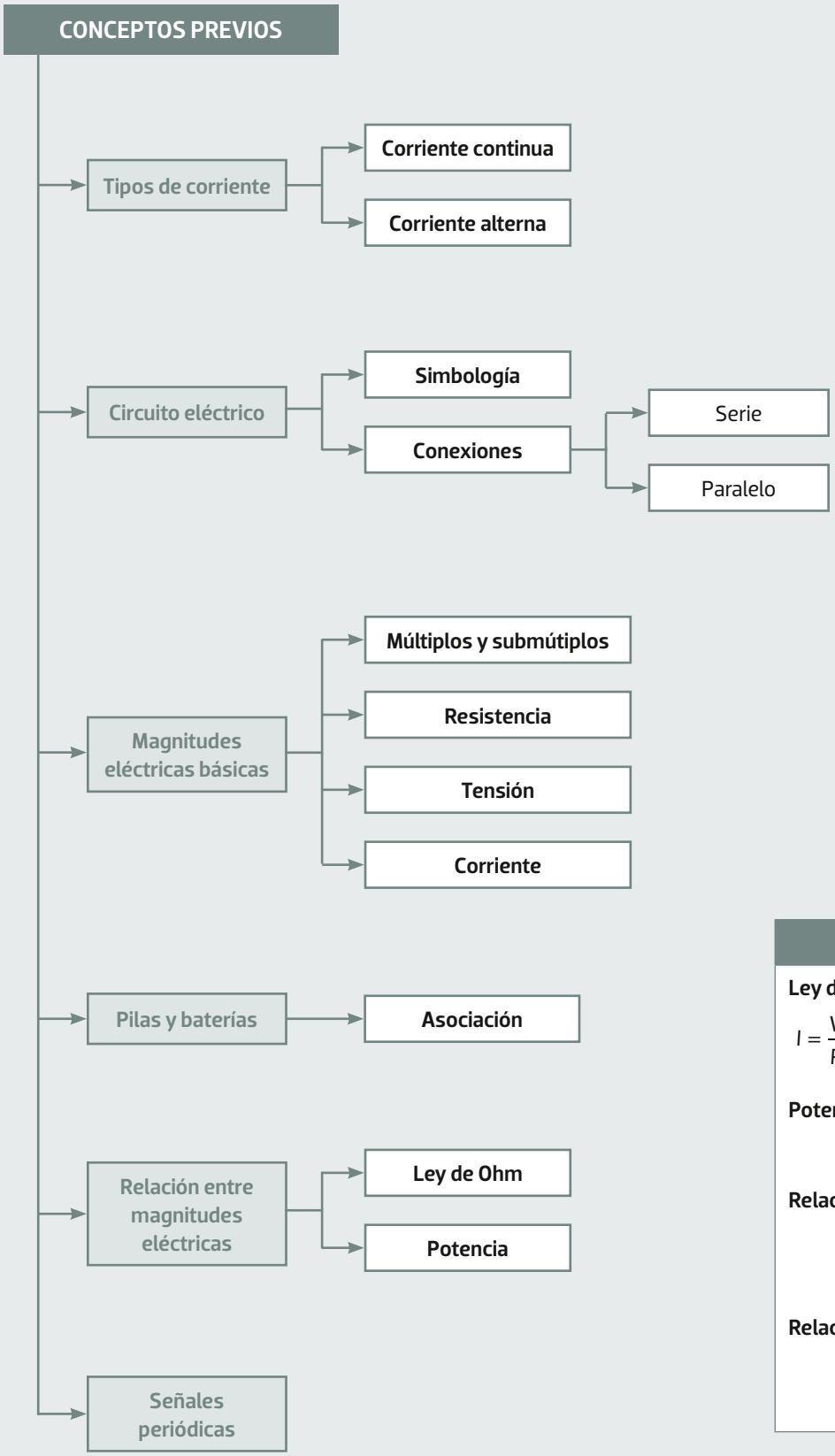



**Figura 1.55.** Circuito de lámparas en paralelo.

1. Dibuja los esquemas normalizados, con los instrumentos necesarios, para realizar las medidas que se piden a continuación:
   a) Medida de corriente total del circuito.
   b) Medida de corriente de cada una de las lámparas.
   c) Tensión de la lámpara L4.
   d) Tensión de la lámpara L3.
   e) Potencia de la lámpara L1.
   f) Potencia del conjunto.
2. Calcula los siguientes valores:
   a) Potencia total.
   b) Corriente de cada una de las lámparas.
   c) Corriente total del circuito.
   d) Resistencia total del circuito paralelo.
   e) Tensión en los terminales de cada una de las lámparas.
3. Saca las siguientes conclusiones:
   a) ¿Qué ocurre con la potencia total respecto al circuito serie de la actividad propuesta número 1?
   b) ¿Qué relación existe entre la tensión de cada una de las lámparas y la de la fuente de alimentación del circuito?
   c) Si todas las lámparas son iguales, como ocurre en el ejemplo mostrado, ¿qué relación hay entre las corrientes de cada una de las lámparas?
   d) ¿Y qué relación hay entre las corriente parcialesde cada una de las lámparas y la global del circuito?

# EN RESUMEN




## Resumen de ecuaciones

**Ley de Ohm:**

$$I = \frac{V}{R} \qquad R = \frac{V}{I} \qquad V = I \cdot R$$

**Potencia:**

$$P = V \cdot I$$

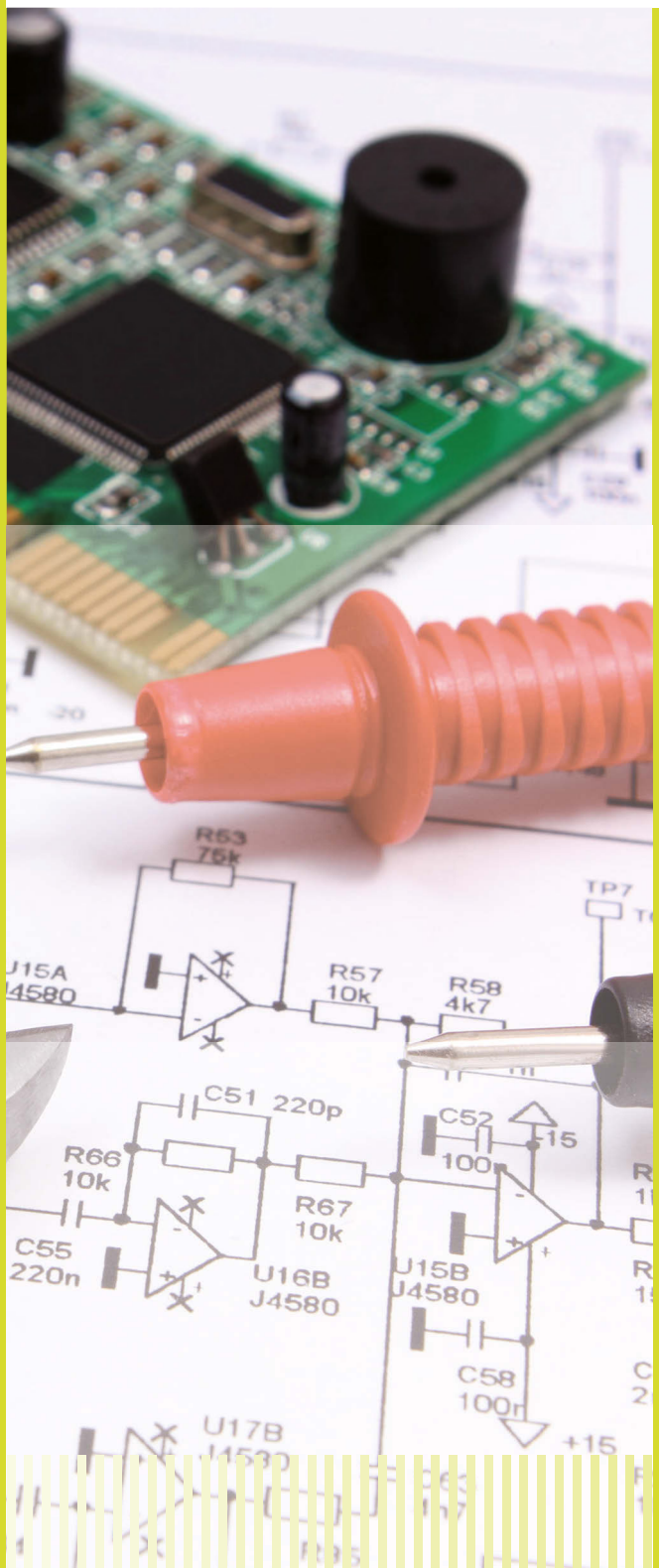
**Relación entre periodo y frecuencia:**

$$T = \frac{1}{f}$$

**Relación de valor de pico y valor eficaz:**

$$V_{ef} = \frac{V_{máx.}}{\sqrt{2}} \qquad I_{ef} = \frac{I_{máx.}}{\sqrt{2}}$$

# 2 El taller de electrónica




## Vamos a conocer...

1. Herramientas
2. Equipos de soldadura blanda
3. Fuente de alimentación de laboratorio
4. Instrumentos de medida
5. El generador de funciones
6. Placas de montaje de circuitos
7. *Software* de diseño y simulación electrónica

PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA

Medida de tensión y corriente en un circuito DC

PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 1

Medidas en un circuito serie y en paralelo

PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 2

Medidas simuladas en un circuito mixto de resistencias

## Y al finalizar esta unidad...

- Conocerás cuáles son las herramientas habituales del taller de electrónica.
- Aprenderás la forma de utilizar el polímetro para medir resistencia, tensión y corriente.
- Identificarás los elementos de mando y conexión de una fuente de alimentación de laboratorio.
- Aprenderás a manejar de forma básica un osciloscopio y un generador de funciones.
- Reconocerás los valores básicos de algunas señales mostradas en un osciloscopio.

# 1. Herramientas

De igual forma que en otras profesiones, el técnico en electrónica requiere de una serie de herramientas y equipos para desarrollar con garantías de éxito su trabajo en el taller de montaje y reparación. Existen muchos tipos específicos de herramientas utilizadas en la electrónica profesional; aquí solamente se nombrarán los de mayor interés.

La mayoría de herramientas básicas que se necesitan en el taller de electrónica no son muy diferentes a las empleadas en otras profesiones, como podría ser la del técnico electricista. Si bien, es necesario aclarar que, debido a las pequeñas dimensiones de los componentes con los que se va a trabajar, las herramientas también deben disponer del tamaño adecuado y la precisión que requiere este tipo de dispositivos.

**Figura 2.1.** Diferentes tipos de alicates (CHAVES).

## 1.1. Alicates

Son utilizados para agarrar, manipular, doblar, pelar y cortar todo tipo de cables y patillas de componentes. En función de su boca, pueden ser universales, de punta plana, punta curvada, de corte, etc.

## 1.2. Pinzas

Se utilizan para sujetar y coger objetos, y en electrónica son especialmente útiles para manipular componentes electrónicos de tamaño reducido. Se comercializan en diferentes formas y tamaños y pueden ser de tipo recto, curvo, de puntas, de palas, cruzadas, de metal, aisladas, de plástico, etc.

**Figura 2.2.** Uso de la pinza.

**Figura 2.3.** Diferentes tipos de pinzas.

## 1.3. Tijeras

Es una herramienta de mano que permite cortar y pelar cables, entre otros objetos. Aunque es muy utilizada por los electricistas, no debe faltar en el taller de electrónica. Su mango debe estar aislado, y una característica muy valorada por los técnicos es que con ella se pueda «puntear», es decir, que se pueda utilizar su punta para cortar con facilidad y precisión.

**Figura 2.4.** Tijera de electricista y ejemplo de uso.

## Saber más

**En tu profesión**

Para trabajar con precisión en tareas de montaje y reparación, no está de más disponer en el taller de electrónica del denominado flexo-lupa.

**Figura 2.5.** Flexo-lupa (cortesía Sonicolor).

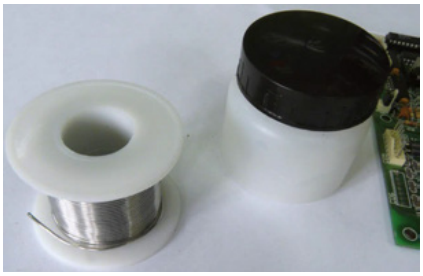


**Figura 2.6.** Estaño y resina de soldar.

## Saber más

**En tu profesión**

El soporte del soldador es un elemento auxiliar de gran utilidad, ya que permite apoyar el soldador en la mesa de trabajo, sin peligro de quemaduras al operario o a los componentes que sobre ella se encuentran.

**Figura 2.9.** Soporte para soldador.

### 1.4. Destornilladores

Si bien en el taller de electrónica puede necesitarse cualquier tipo de destornillador, son especialmente útiles lo denominados de **precisión** con cabezas intercambiables, ya que permitirán realizar la manipulación y ajuste de muchos componentes, como pueden ser las resistencias y los condensadores ajustables.

## 2. Equipos de soldadura blanda

Se utilizan tanto para el montaje como reparación de todo tipo de circuitos electrónicos. Su funcionamiento se basa en el calentamiento de estaño sobre el punto a soldar. A esta técnica se la denomina «soldadura blanda» y se utiliza para hacer conexiones eléctricas duraderas en placas de circuito impreso.

### 2.1. El estaño

Es un metal que funde con facilidad cuando se le aplica calor. El estaño utilizado en electricidad y electrónica se encuentra aleado con plomo en una proporción 60-40 %. Tiene forma de hilo de diferentes diámetros, siendo muy común en electrónica el de 0,8 mm.

### 2.2. Decapante

También conocida como resina de soldar, es una solución que elimina el óxido y las impurezas del metal a soldar, facilitando así la aplicación del estaño. Puede presentarse en formato líquido o sólido, y se debe aplicar con un pincel.

### 2.3. Soldador

Es la herramienta que permite fundir el estaño en el punto a soldar. Basa su funcionamiento en el calentamiento de una resistencia que se encuentra en su interior y cuyo calor se concentra en la punta del soldador. Se eligen por su tamaño, forma de la punta y, especialmente, por su potencia en vatios.

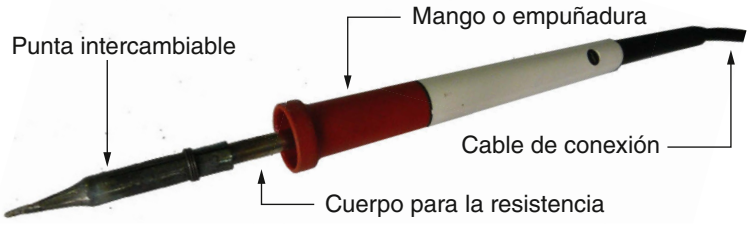



**Figura 2.7.** Partes de un soldador eléctrico.

### 2.4. Desoldador

Es una herramienta imprescindible para reparaciones. Permite retirar la soldadura de los componentes electrónicos de las placas de circuito impreso por succión.

**Figura 2.8.** Desoldadores: de perilla y de vacío.

# 3. Fuente de alimentación de laboratorio

Es un equipo imprescindible en el taller de electrónica, ya que todos los circuitos que se han de comprobar, reparar o ensayar necesitan una fuente de tensión para su funcionamiento. El valor de tensión, e incluso el tipo de corriente, puede ser diferente en función del circuito o montaje con el que se va a trabajar, por lo que se hace necesario un equipo de alimentación flexible que se adapte a las diferentes situaciones de puesta en marcha y comprobación que se puedan dar en el taller de electrónica. Por este motivo, es recomendable utilizar una fuente de alimentación de las denominadas de «laboratorio», ya que con ellas se puede regular la tensión en DC, además de disponer de otras prestaciones como protección contra cortocircuitos, indicadores de medida (V y A), regulación de la corriente de salida, alimentación simétrica (+V, 0,-V), salidas de tensión fija en AC, etc.

**Figura 2.10.** Fuente de alimentación de laboratorio (PROMAX).

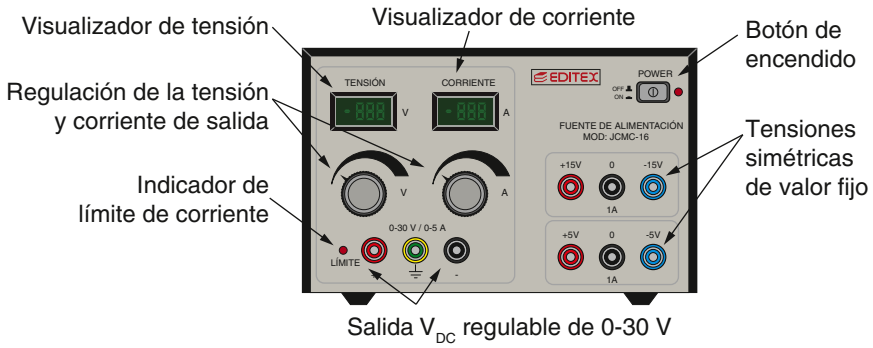



**Figura 2.11.** Partes de una fuente de alimentación de laboratorio.

# 4. Instrumentos de medida

Hay muchos tipos de instrumentos que se requieren en el taller de electrónica. Algunos de ellos con aplicaciones muy específicas y excesivamente caros para el técnico novel, por lo que aquí no se estudiará su uso.

## 4.1. El polímetro

El **polímetro** o **multímetro** es un instrumento multifunción que permite efectuar medidas de diferentes magnitudes eléctricas, tanto en corriente continua como alterna, y con diferentes fondos de escala.

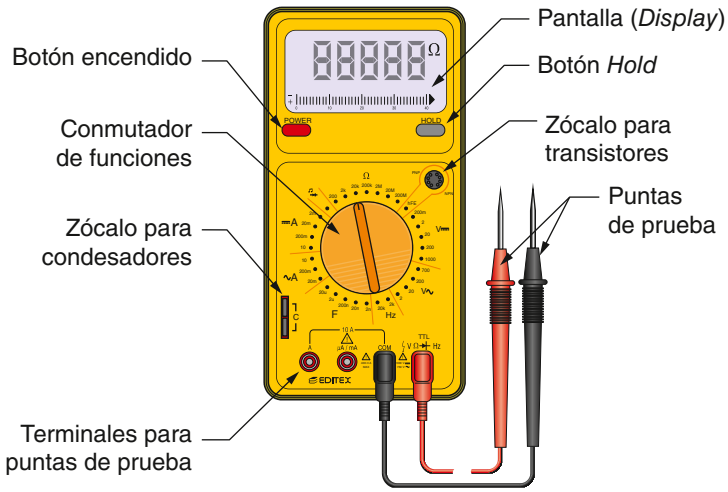



**Figura 2.12.** Partes de un polímetro digital.

### Saber más

Aunque existen polímetros de marcación analógica mediante aguja, en la actualidad, los más extendidos son los de visualización digital, y por este motivo serán los estudiados en este libro.

**Figura 2.13.** Polímetro de marcación analógica.

**Figura 2.15.** Polímetro.

Estas son algunas de las partes comunes en la mayoría de los polímetros:

**Conmutador de funciones:** permite, mediante un selector rotativo, elegir la función y la escala en la que se va a medir.

**Pantalla o *display:*** es la parte en la que se visualiza la lectura de la medida, además de información adicional sobre el propio funcionamiento del polímetro (ejemplo: batería baja).

**Puntas de prueba:** son los elementos con los que se realiza la conexión eléctrica en el circuito. Constan de una clavija para conectar en los terminales del polímetro, un cable y dos terminaciones con las puntas de comprobación.

**Terminales para las puntas de prueba:** son orificios enchufables en los que se insertan las puntas de prueba. Suelen disponer de dos o tres puntos de conexión, en los que uno de ellos es común (COM) para todo tipo de medidas. En él se conecta de forma fija una de las puntas de prueba.

**Figura 2.14.** Disposición de terminales en dos tipos de polímetros.

**Botón de encendido:** permite activar y desactivar el instrumento. Muchos modelos disponen de apagado automático temporizado para el ahorro de la batería.

**Botón *Hold:*** sirve para *congelar* la lectura aunque se retiren las puntas de prueba del lugar de medición. Es especialmente útil para tomar lectura de la medición en lugares poco accesibles.

**Zócalos para componentes:** muchos polímetros disponen de zócalos para conectar de forma directa condensadores y/o transistores.

## 4.2. Uso del polímetro

Debes tener en cuenta que no todos los polímetros son iguales, por lo que siempre es recomendable leer el manual de instrucciones que facilita el fabricante para conocer cómo se conectan las puntas de prueba en cada una de las medidas a realizar. Si las puntas de prueba no se conectan de forma adecuada, el instrumento podría dañarse de forma irremediable.

A continuación, se muestran algunas indicaciones y consejos que se deben tener en cuenta a la hora de utilizar el polímetro:

1. Presta atención a la conexión de las puntas de prueba en los terminales del polímetro, ya que una mala conexión podría dañarlo gravemente. El terminal COM es el borne común para todas las medidas. En él se debe conectar el cable de color negro de las puntas de prueba, que será negativo en aquellas medidas que requieren conocer la polaridad.
2. Observa con detenimiento que los cables de las puntas de pruebas no tengan defectos de aislamiento.
3. Pon el selector en el rango y función que se desea medir. Si no se conoce el valor que puede tener la medida que se va a realizar, se debe elegir siempre la escala de mayor rango.
4. Si en la pantalla se muestra un mensaje similar a *lowbat*, se debe cambiar la pila del instrumento.

### Vocabulary

- Base de tiempos: *time base.*
- Placa: *board.*
- Superficie: *surface.*
- Plomo: *lead.*
- Estaño: *tin.*
- Circuito impreso: *printed circuit.*
- Onda: *wave.*
- Onda cuadrada: *square wave.*
- Generador de funciones: *function generator.*
- Periodo: *period.*
- Comprobar: *to check.*
- Prueba/ensayo: *test.*
- Comprobador: *tester.*
- Osciloscopio: *osciloscope.*
- Amplitud: *scope.*
- Canal: *channel.*
- Capa: *layer.*
- Multicapa: *multilayer.*

### 4.2.1. Medida de tensión

Para medir tensión, tanto en corriente continua como alterna, se debe insertar la punta de prueba negra en el borne COM y la roja en el terminal V.

El tipo de corriente (DC o AC) y fondo de escala se eligen conmutando el selector del instrumento. Las puntas de prueba se deben conectar en paralelo con el receptor o fuente de alimentación en el que se desea medir.

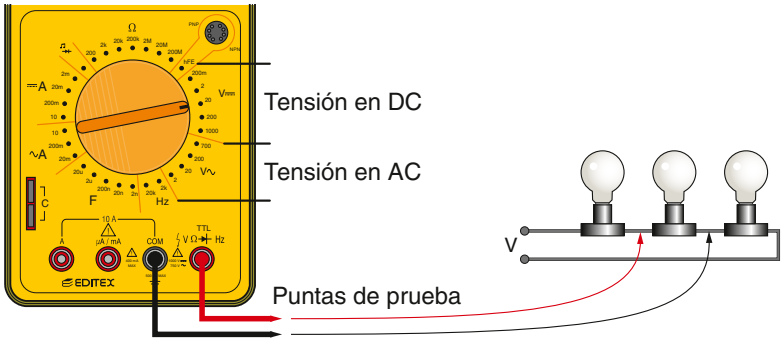



**Figura 2.16.** Medida de tensión con polímetro.

### 4.2.2. Medida de intensidad de corriente

La medida de corriente en un circuito, tanto de alterna como de continua, se realiza insertado las puntas de prueba en serie con el circuito en el que se desea realizar la medida, utilizando los terminales COM y mA del polímetro.

Muchos polímetros solo permiten medir corrientes del orden de los miliamperios, e incluso, algunos de ellos, los modelos de gama baja, no permiten medir la intensidad en corriente alterna. No obstante, hay modelos de polímetros que permiten medir corrientes de hasta 10 A, tanto en DC como en AC. En estos casos, suele existir un terminal exclusivo para realizar este tipo de medidas, en el cual es necesario insertar una de las puntas de prueba, y la otra en el terminal COM.

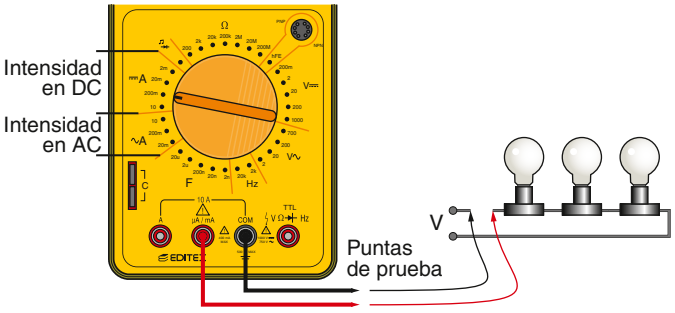



**Figura 2.18.** Ejemplo de medida de corriente en DC del orden de los mA.

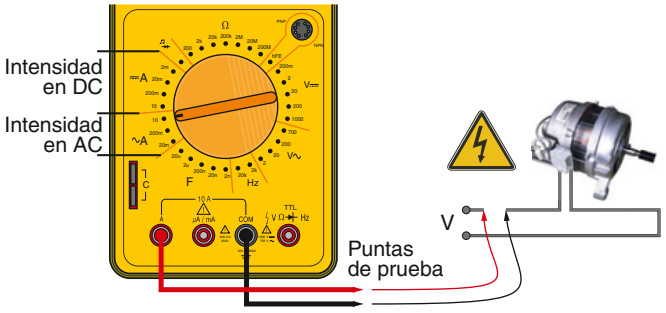



**Figura 2.19.** Ejemplo de medida de corriente hasta 10 A en AC.

## Seguridad

La medida de corriente, especialmente en escalas grandes, puede resultar peligrosa. La conexión en serie del polímetro debe hacerse con la alimentación desconectada, asegurando que las puntas de prueba están firmemente conectadas y no haya posibilidad de que se suelten.

## Seguridad

No se debe conectar nunca el polímetro en paralelo con las puntas de prueba conectadas para medir corriente. A tensiones elevadas, como pueden ser los 230 V de la red eléctrica, el instrumento podría dañarse.

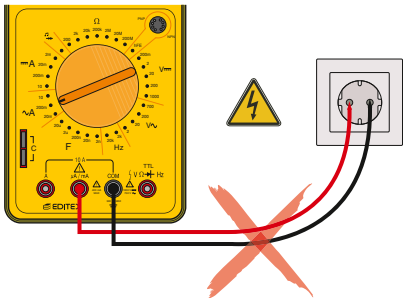


**Figura 2.17.** Conexión incorrecta de las puntas de prueba.

## Actividades

1. Comprueba con el polímetro la tensión de varias pilas, baterías y fuentes de alimentación recicladas. Anota en tu cuaderno los resultados y comprueba si los valores se ajustan a sus características.

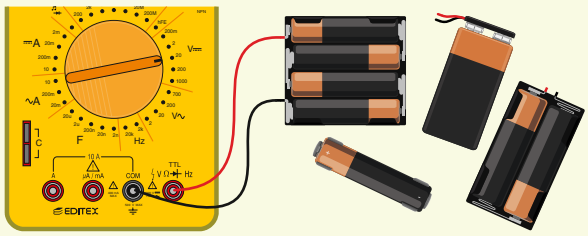


**Figura 2.20.** Comprobación de tensión.

### 4.2.3. Medida de resistencia óhmica

Permite utilizar el polímetro como si fuera un óhmetro. Se debe insertar la punta de prueba negra en el borne COM y la roja en el terminal Ω. El selector se debe poner en algunas de las posiciones de Ω. Si el valor medido se sale fuera de rango, en la pantalla se muestra el número 1 a la izquierda.

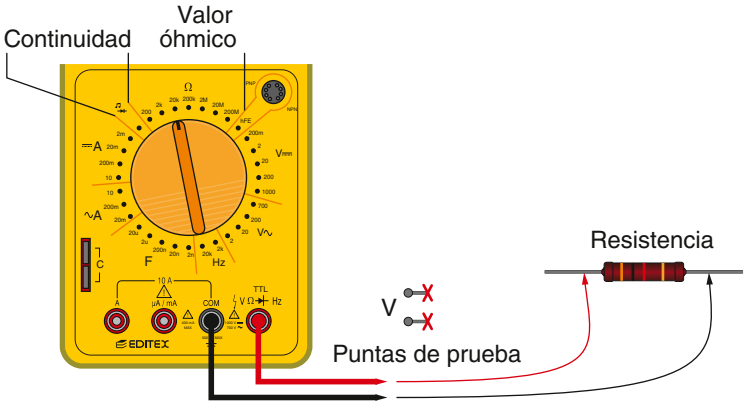



**Figura 2.21.** Comprobación de continuidad.

### 4.2.4. Comprobación de continuidad

La comprobación de continuidad es una función especial del modo de medición de resistencia. Con ella se puede comprobar, de forma acústica, si un elemento conductor permite el paso de la corriente desde los dos puntos en los que se hace la comprobación. La reproducción acústica solamente se realiza cuando el valor óhmico medido es muy bajo.

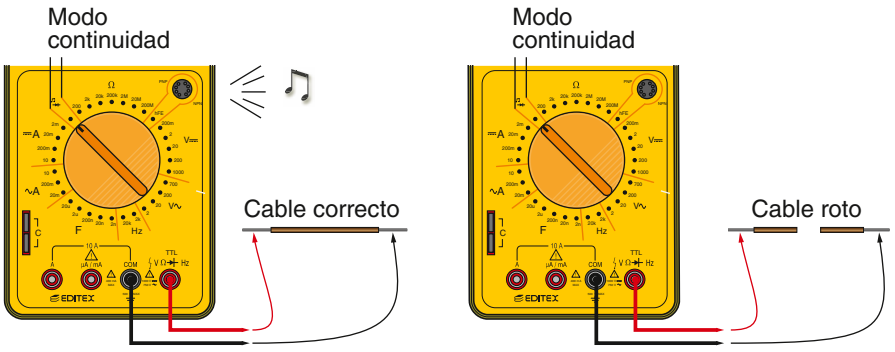



**Figura 2.22.** Medida de resistencia.

## Saber más

**En tu profesión**

La comprobación de continuidad es una buena forma de saber si un cable, o componente, está dañado. Así, si se comprueba un cable, 0 Ω significa que está correcto, y si se obtiene un valor infinito (∞), indica que está roto o ha perdido la conexión.

## Actividades

**2.** Con un polímetro comprueba la continuidad de los siguientes elementos:

a) Lámpara incandescente.

b) Motor de juguetería.

c) Resistencia (a elegir cualquier valor).

d) Cartucho de fusible.

e) La mina de un lapicero.

Conmuta el polímetro para medir el valor óhmico de las resistencias y comprueba de nuevo los componentes anteriores. Anota ambos resultados y compáralos.

## 4.3. Osciloscopio

Es un instrumento que permite la visualización y medida de tensiones eléctricas de forma gráfica. Las señales se muestran sobre una pantalla con cuadrícula, cuyas unidades son ajustadas previamente por el usuario desde los mandos del frontal del aparato.

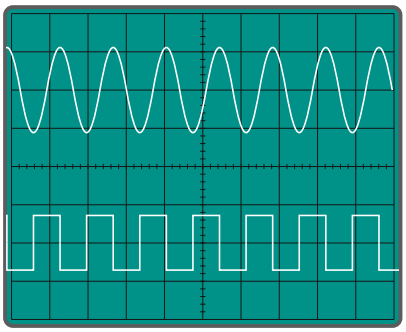


**Figura 2.24.** Monitorización de dos señales en un osciloscopio de dos canales.

**Figura 2.23.** Osciloscopio analógico y osciloscopio digital.

Si bien hasta no hace mucho tiempo los osciloscopios analógicos, basados en tubos de rayos catódicos, eran los más comunes en el taller de electrónica, en la actualidad están siendo sustituidos por los de tipo digital, con muchas más prestaciones y un tamaño más reducido. No obstante, hay que añadir que su uso, en lo básico, es exactamente el mismo en ambos tipos.

Los osciloscopios disponen de varios canales, denominados habitualmente como CH (*channel*), siendo habituales los de dos y cuatro canales, de forma que es posible visualizar varias señales a la vez en su pantalla.

Un osciloscopio mide tensión, por tanto, siempre se conecta como si fuese un voltímetro, es decir, en paralelo. No obstante, con un osciloscopio es posible medir otros tipos de magnitudes si se utilizan los transductores adecuados.

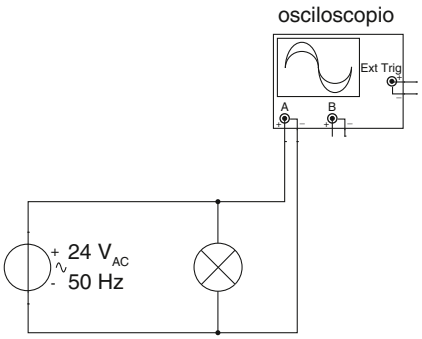



**Figura 2.25.** Ejemplo de conexión de un osciloscopio en un circuito AC.

### 4.3.1. Las sonda de prueba

La conexión de estos canales se hace mediante unos cables especiales denominados sondas, que disponen de punta de prueba y pinza de masa.

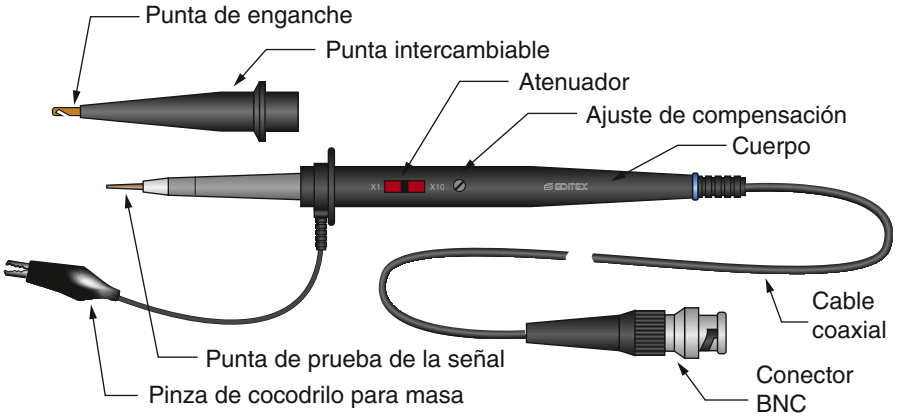



**Figura 2.26.** Sonda de osciloscopio y sus partes.

Las sondas disponen de una pinza de cocodrilo para el cable de la masa y una punta de prueba para captar las señales que se van a monitorizar. Para esta punta existen diferentes accesorios, como la capucha de enganche retráctil, que facilita la conexión en las patillas de los componentes electrónicos.

## Saber más

Los conectores BNC son muy utilizados en la instrumentación electrónica, ya que son muy seguros en su conexión con el dispositivo y aportan un excelente blindaje electromagnético para evitar perturbaciones externas.

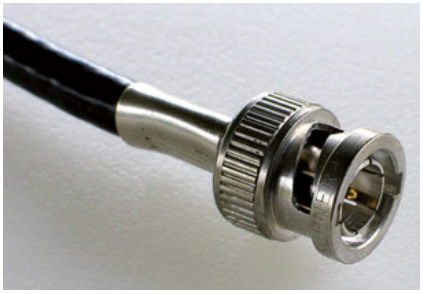


**Figura 2.27.** Conector BNC.

## Recuerda

En función del tipo de medida que se quiera realizar, es importante tener en cuenta que las masas de todos los canales de un osciloscopio están unidas entre sí internamente.

## Saber más

### En tu profesión

También existen osciloscopios de mano que mezclan la funcionalidad de los polímetros, con la potencia de la visualización gráfica de ondas.

**Figura 2.29.** Osciloscopio de mano (cortesía PROMAX).

La conexión de la sonda al osciloscopio se hace mediante un cable coaxial, que termina en un conector de tipo BNC, en el cual la parte metálica exterior es la masa.

Además, en el cuerpo de la sonda suele haber un conmutador que permite atenuar el valor de tensión de entrada, para así poder realizar mediciones de señales cuya amplitud es superior a la que el instrumento puede trabajar.

### 4.3.2. Partes del osciloscopio

En general, todos los osciloscopios están formados por las siguientes partes:

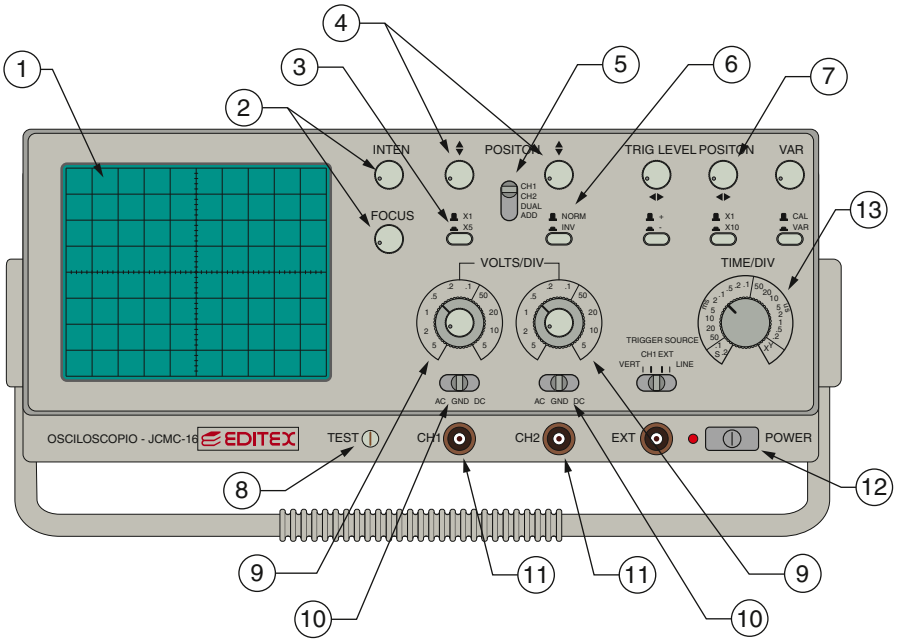



**Figura 2.28.** Partes de un osciloscopio.

1. **Pantalla:** está cuadriculada. En ella se presentan los trazos de las señales que se van a monitorizar. En los de tipo digital, la pantalla, además, es el *interface* para configurar las diferentes opciones del instrumento.
2. **Mandos INTEN y FOCUS:** permiten al operario ajustar el brillo y la definición con los que se muestran los trazos en la pantalla.
3. **Atenuador:** permite atenuar el valor de tensión aplicado en los canales.
4. **Mandos de posición vertical:** permite posicionar en el eje vertical las señales visualizadas en pantallas. Suele haber tantos mandos como canales de los que dispone el osciloscopio.
5. **Conmutador de canal:** selecciona el canal o canales a visualizar.
6. **Botón INVER:** invierte la polaridad de la señal de entrada, mostrando una onda simétrica (en espejo) de la original.
7. **Mando posición horizontal:** desplaza, a izquierda y derecha, las señales mostradas en pantalla en el eje horizontal.
8. **Toma de prueba:** si se conecta en ella la sonda de señal, permite comprobar si el instrumento y la sonda están correctos. Para ello muestra en pantalla una señal cuadrada prediseñada.

9. **Selector VOLTS/DIV:** mando que permite definir cuántos voltios por división se van a mostrar en la pantalla. Hay tantos mandos VOTS/DIV como canales de los que dispone el osciloscopio. Este mando suele ser doble, de forma que con el dial más grande se selecciona el rango de los voltios por división, y con el mando interior se realiza el ajuste fino en el rango seleccionado.
10. **Conmutador AC/GND/DC:** selecciona el tipo de acoplamiento que se va a realizar en el canal seleccionado. Hay tantos conmutadores de este tipo como de canales dispone el instrumento.
11. **Canales:** entrada de tipo hembra para unir el conector BNC de la sonda de prueba. Hay tantas tomas de este tipo como canales dispone el osciloscopio.
12. **Interruptor POWER:** interruptor que permite alimentar el circuito interno del osciloscopio a la red eléctrica.
13. **Selector TIME/DIV:** también se le denomina base de tiempos (TIME BASE), está graduado en segundos por división y permite elegir la frecuencia de barrido para las señales mostradas en pantalla.

## Saber más

El selector VOLTS/DIV actúa sobre el denominado bloque vertical del osciloscopio, y, por tanto, su manipulación afecta a la visualización de la señal en este eje. Sin embargo, el selector TIME/DIV actúa sobre el bloque horizontal, y, por consiguiente, cuando se actúa sobre él, la señal se ve afectada horizontalmente.

## Actividades

**3.** Ajusta la compensación de la sonda del osciloscopio para poder visualizar correctamente las señales a medir en las próximas actividades.

Proceso:

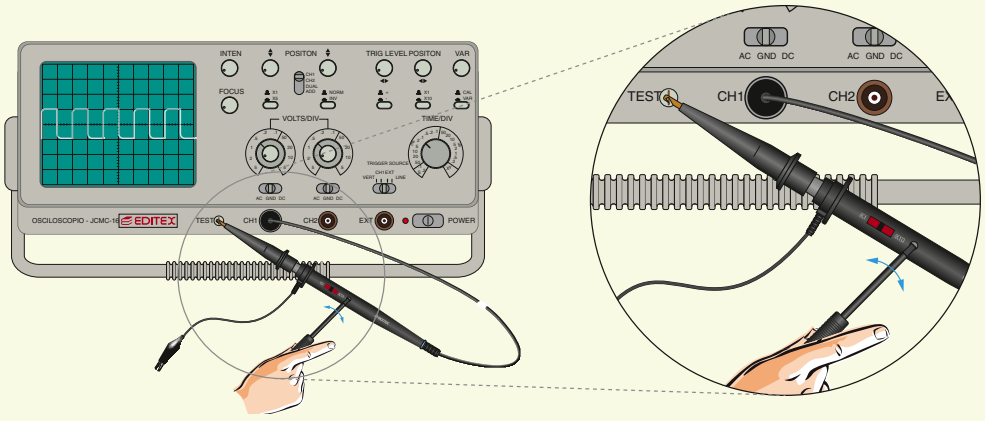
a) Conecta la punta de enganche retráctil en la punta de la sonda.

b) Conecta la sonda del osciloscopio al canal 1 CH1. También es posible conectarla a cualquier otro canal.

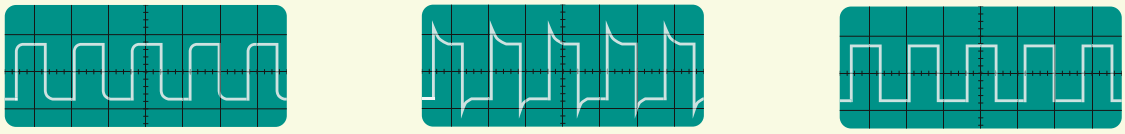
c) Engancha la punta retráctil a la toma denominada TEST que se encuentra en el frontal del osciloscopio.

d) Gira los mandos de VOLT/DIV y TIME/DIV hasta que la onda cuadrada se visualice de forma adecuada en pantalla. La amplitud de la salida TEST suele ser de 5 V.

e) Coge el destornillador de plástico que trae la sonda y realiza el ajuste de compensación hasta que la onda sea lo más cuadrada posible. Es importante no utilizar un destornillador con punta metálica, ya que podría producir perturbaciones en la compensación.




Forma de la señal para una correcta compensación:



Subcompensada | Sobrecompensada | Bien compensada

**Figura 2.30.** Ajuste de la compensación de la sonda del osciloscopio.

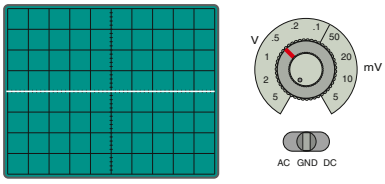



**Figura 2.31.** Ajuste de la señal a la línea de referencia.

## 4.4. Uso básico del osciloscopio

A continuación, se muestran algunas técnicas básicas de uso del osciloscopio para medir tensiones tanto en corriente continua como en alterna.

### 4.4.1. Manejo común para cualquier tipo de medida

1. Se conecta el conector BNC de la punta de prueba en uno de los canales CH del osciloscopio.
2. Se conmuta en GND el conmutador de entrada de dicho canal. Esto evitará cualquier tipo de interferencia para ajustar la señal a una de las líneas de referencia de la pantalla del osciloscopio.
3. El atenuador de la sonda debe estar en la posición adecuada para el valor de tensión que se va a medir. La posición de mayor escala del mando VOLT/DIV multiplicado por el número de divisiones horizontales de la cuadrícula en la pantalla es el valor máximo que en el osciloscopio se puede visualizar. No obstante, el uso del multiplicador X10 de la sonda permite efectuar medidas para valores muy elevados.
4. Los terminales de la sonda se conectan en paralelo con los terminales en los que se desea conocer el valor de tensión. En corriente continua se fija la punta de prueba de señal en el positivo y la pinza de cocodrilo en el negativo. En corriente alterna es indiferente como queden conectados ambos terminales.

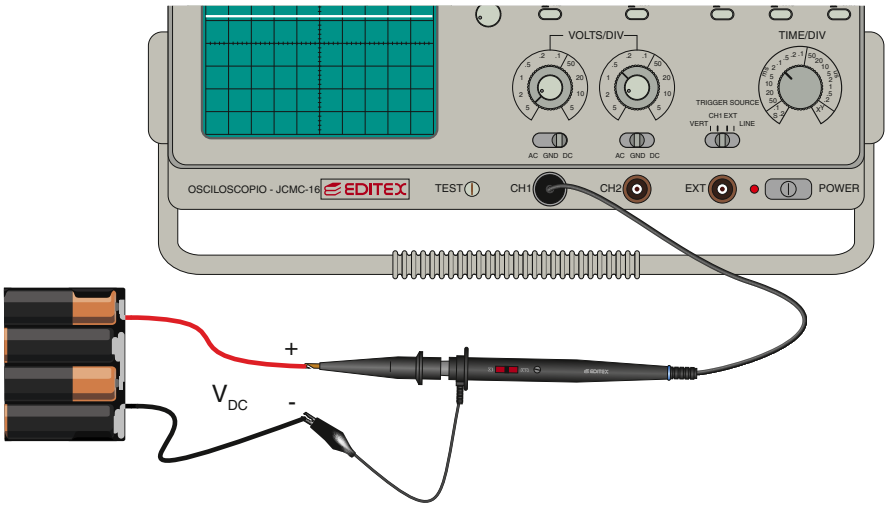



**Figura 2.35.** Ejemplo de conexión del osciloscopio para medir tensión en DC.

5. Se ajusta el barrido o base de tiempo de tal forma que en la pantalla del osciloscopio se muestre una línea continua.
6. Esta línea debe hacerse coincidir con alguna de las líneas horizontales de la carátula del osciloscopio, siendo la línea central la mejor referencia para la medida.

### 4.4.2. Medida de tensión en corriente continua

Ajustar el mando VOLT/DIV para observar la medida de la mejor forma posible. Si el valor de la tensión es positivo, la línea se desplaza hacia la parte superior de la línea de referencia. Si por el contrario es negativa, la línea se desplaza hacia abajo. En este caso, el valor en voltios es el número de cuadrículas que la línea se desplaza en vertical multiplicado por el valor en el que se encuentra el conmutador VOLT/DIV.

#### Ejemplos de medida de tensión en corriente continua:

Conmutador en 0,5 V por división. Lectura de la medida: 1 V.

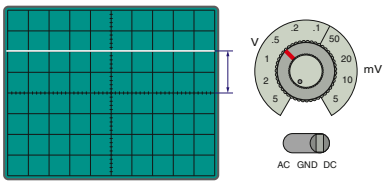



**Figura 2.32.** Ejemplo de medida $V_{DC}$ 1.

Conmutador en 5 V por división. Lectura de la medida: –12 V.

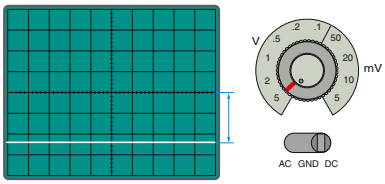



**Figura 2.33.** Ejemplo de medida $V_{DC}$ 2.

Conmutador en 10 mV por división. Lectura de la medida: 38 mV.

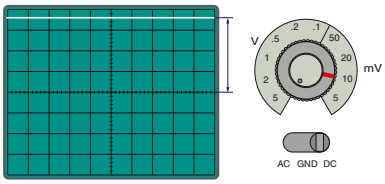



**Figura 2.34.** Ejemplo de medida $V_{DC}$ 3.

## 4.4.3. Medida de señales periódicas

Con un osciloscopio se puede medir de forma directa el valor de amplitud y de frecuencia de las señales periódicas. Para ello, además de ajustar el mando de VOLT/DIV para obtener el valor de la amplitud, es necesario ajustar la base de tiempos o TIME/DIV, para conseguir visualizar uno o varios ciclos completos en la pantalla del osciloscopio y así deducir la frecuencia de la señal.

Para ello se procede de la siguiente manera:

1. Se conectan las puntas de la sonda de prueba en los puntos del circuito en los que se desea medir la señal.
2. Se ajusta la señal de referencia como se ha explicado anteriormente, es decir, con el conmutador de canal en GND y la señal en la línea horizontal central de la pantalla.
3. Para visualizar la señal periódica en la pantalla, se pone el conmutador del canal en AC.
4. Se ajusta la amplitud de la señal con el atenuador VOLT/DIV, hasta que la forma de onda encaja de tal forma en la pantalla, que permita visualizarla adecuadamente.
5. Por último, se ajusta el barrido de la señal con el mando de la base de tiempos TIME/DIV, hasta que se pueda visualizar un ciclo completo en la pantalla.

### Valor de la amplitud de una señal periódica

El valor de amplitud de una señal periódica se obtiene de forma similar a lo que se ha visto para medir la tensión de corriente continua. En este caso, se observa uno de sus semiciclos y se mide el número de divisiones que su cresta se encuentra desplazada respecto a la línea de referencia horizontal, y se multiplica por el valor en el que se encuentra el conmutador VOLT/DIV.

### Valor de la frecuencia de una señal periódica

Para medir la frecuencia, es necesario medir las divisiones que el ciclo de la señal ocupa horizontalmente en el eje *X*. Este se multiplica por el tiempo en segundos, que se ha seleccionado con el conmutador de la base de tiempos TIME/DI, obteniendo así el valor de un periodo *T*. De esta forma, la frecuencia en hercios se calcula según lo visto en la primera unidad del libro con la expresión $f = 1 / T$.

### Ejemplos de medida amplitud de señales sinusoidales:

Conmutador en 1 V por división. Valor de la amplitud: 3 V.

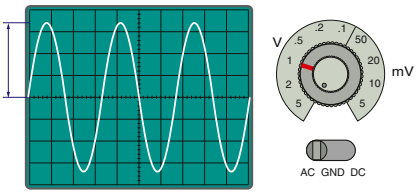



**Figura 2.36.** Ejemplo de medida $V_{AC}$ 1.

Conmutador en 50 mV por división. Lectura de la medida: 170 mV.

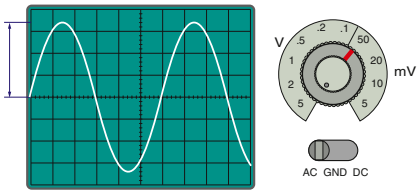
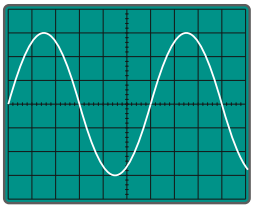



**Figura 2.37.** Ejemplo de medida $V_{AC}$ 2.



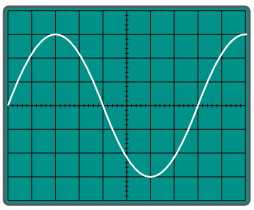

Conmutador de la base de tiempos en 10 ms/DIV.

Divisiones por ciclo: 6

Periodo: $T = 6 \cdot 10\ \text{ms} = 60\ \text{ms}$

La frecuencia es:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}06\ \text{s}} = 16{,}66\ \text{Hz}$$




Conmutador de la base de tiempos en 50 uS/DIV.

Divisiones por ciclo = 8

Periodo: $T = 8 \cdot 50\ \text{us} = 400\ \text{us}$

La frecuencia es:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}0004\ \text{s}} = 2\,500\ \text{Hz}$$

**Figura 2.38.** Valor de la frecuencia de una señal periódica.

# 5. El generador de funciones

También denominado generador de señales o de ondas, es un instrumento que no debe faltar en el taller de electrónica, ya que con él es posible generar diferentes formas de ondas periódicas (sinusoidales, cuadradas, triangulares) y no periódicas, en un amplio rango de frecuencias, llegando en algunos modelos hasta los 50 MHz.

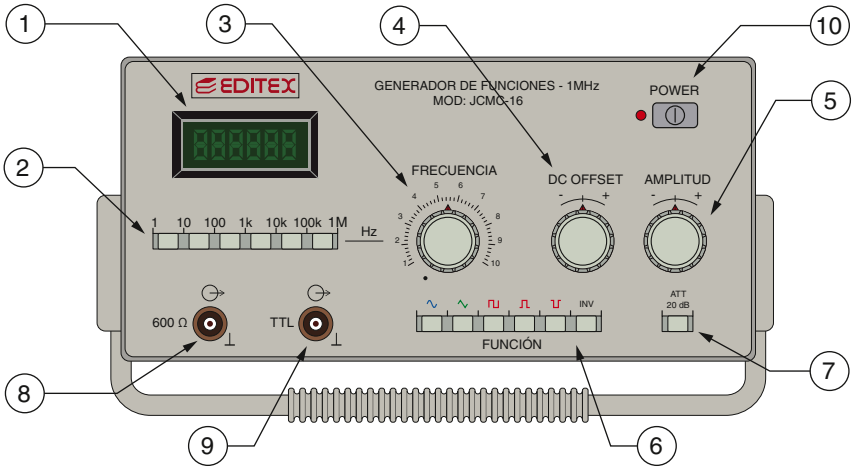


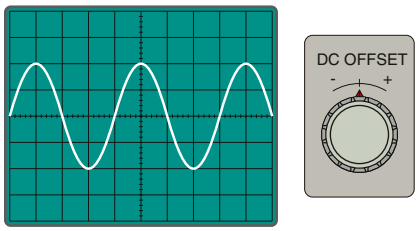

**Figura 2.39.** Partes de un generador de funciones.

Los elementos y mandos más habituales que nos podemos encontrar en un generador de funciones son los siguientes:

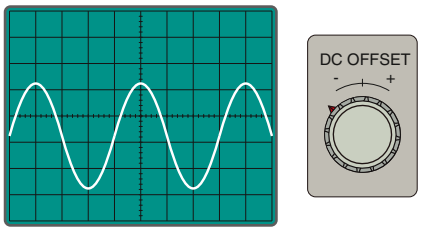
1. *Display* o visualizador de las magnitudes de salida.
2. Selector del rango de frecuencias. En él se selecciona el margen de frecuencia en el que se va a trabajar, cuyos valores se ajustan con el control giratorio de frecuencia.
3. Mando giratorio para el ajuste fino de la FRECUENCIA dentro de un rango previamente seleccionado en el selector 2.
4. Mando de OFFSET. Permite desplazar un número de voltios, en positivo y negativo, el eje horizontal de referencia de la señal de salida.
5. Regulación de AMPLITUD. Permite aumentar y disminuir el valor de la amplitud en la señal de salida.
6. Selector de tipo de FUNCIÓN. Selecciona la forma de onda de la señal de salida con la que se va a trabajar.
7. Botón de ATENUACIÓN. Atenúa la señal de salida un determinado número dedecibelios.
8. Conector de salida para la conexión de sonda. Suele ser de tipo hembra BNC.
9. Conector de salida para señales de lógica digital TTL.

### Ejemplo del uso del OFFSET en una señal sinusoidal

Sin OFFSET:




Con OFFSET negativo:




Con OFFSET positivo:

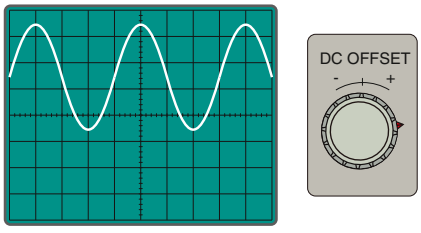



**Figura 2.40.** Ejemplos de uso de OFFSET.

## Actividades

**4.** Conecta un generador de funciones a un osciloscopio. Conmuta los diferentes tipos de señal. Modifica su amplitud con los mandos del generador de funciones y ajusta el osciloscopio para su correcta visualización en pantalla. ¿Qué ocurre si se conmuta el valor del atenuador en la sonda de pruebas? Comprueba también el efecto que el OFFSET tiene sobre la señal.

# 6. Placas de montaje de circuitos

Son placas que permiten realizar la unión eléctrica entre los componentes que conforman un circuito electrónico.

Los circuitos definitivos y comerciales se montan sobre placas de circuito impreso, conectando los componentes con la técnica de soldadura blanda. Los circuitos de prototipos y para experimentación, como pueden ser los propuestos en las actividades de este libro, se montan sobre placas de pruebas o *protoboard*.

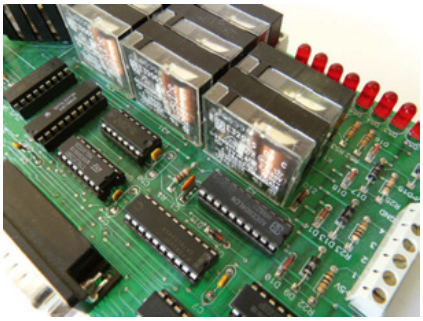


**Figura 2.41.** Placa de circuito impreso vista por el lado de los componentes.

## 6.1. Placas de circuitos impresos

Se puede decir que una placa de circuito impreso es una forma de «cableado» utilizada en la electrónica para realizar las conexiones eléctricas entre componentes.

En ellas, en lugar de unir los elementos que constituyen el circuito mediante cables, se hace a través de pistas de cobre que están adheridas a una placa aislante basada en resinas de fibra de vidrio y baquelita.

La unión de los componentes electrónicos y conectores se hace utilizando soldadura blanda.

La técnica denominada de **orificio pasante** es ampliamente utilizada desde los albores de la electrónica, y consiste en montar los componentes atravesando con sus terminales la placa de circuito impreso, la cual ha sido previamente perforada. El cuerpo del componente queda en una cara de la placa y las soldaduras de los terminales a las pistas, en la otra.

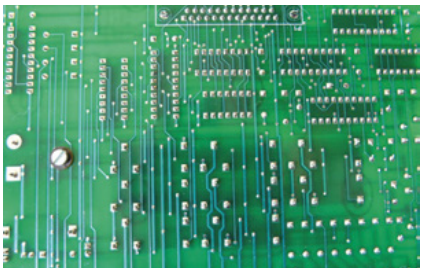


**Figura 2.42.** Placa de circuito impreso de doble cara por el lado de las soldaduras.

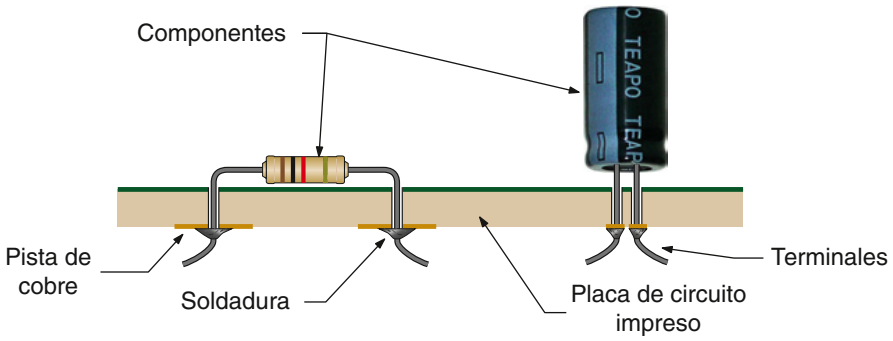



**Figura 2.43.** Detalle de ejecución de placas de circuito impreso por orificio pasante.

En numerosas ocasiones, la complejidad de conexionado entre los componentes de un circuito electrónico requiere utilizar placas de circuito impreso de más de una cara, denominadas también multicapa. Esto consiste en hacer un sándwich de placas de circuito impreso, cuyas pistas quedan conectadas entre sí mediante orificios metalizados u otras técnicas.

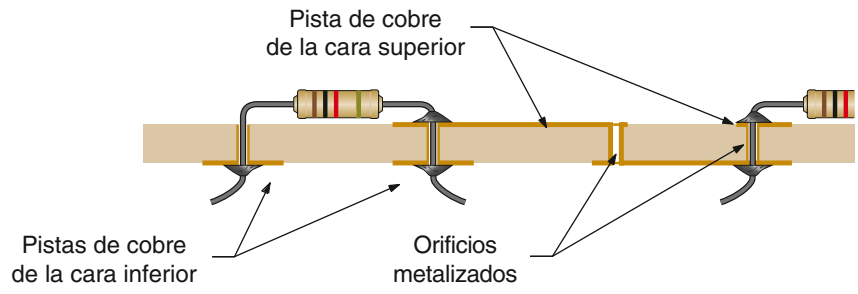



**Figura 2.44.** Placa de circuito impreso de doble cara.

### Saber más

A las placas de circuito impreso se las denomina habitualmente como placas PCB, que es la abreviatura del inglés: *printed circuit board*.

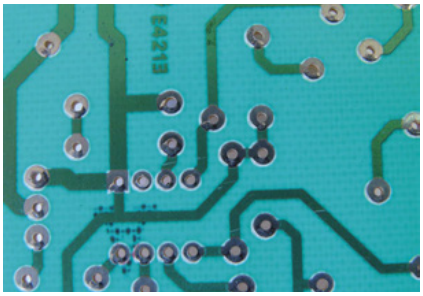


**Figura 2.45.** Detalle de pistas barnizadas y pads para la soldadura.

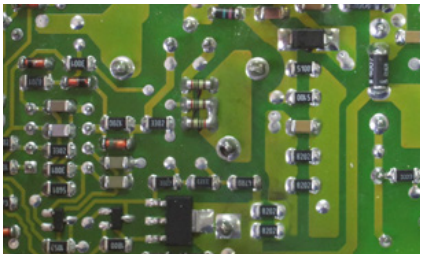


**Figura 2.46.** Placa de circuito impreso con componentes en superficie.

El acabado profesional de una placa de circuito impreso requiere aplicar una capa de esmalte o barniz aislante sobre las pistas, sin cubrir los puntos de conexión, conocidos habitualmente como *pads,* para que sobre ellos se pueda realizar la soldadura.

Otra técnica muy utilizada en la actualidad en la fabricación de circuitos electrónicos es la denominada montaje en superficie, o más conocida como montaje SMD (*surface mount device).* Esta técnica no requiere perforar la placa de circuito impreso, ya que los componentes se sueldan directamente sobre las pistas de cobre, permitiendo así la miniaturización de los equipos y dispositivos electrónicos. No obstante, para su ejecución se requieren equipos especiales de soldadura y manipulación, que no siempre son accesibles a todo tipo de técnicos.

En la tecnología SMD los componentes electrónicos, tanto pasivos como activos, tienen un tamaño muy pequeño y no disponen de terminales tipo patilla.

## 6.2. Placas de prototipos

Una placa de prototipos, también conocida como placa *protoboard*, es una placa que dispone de un gran número de orificios interconectados entre sí, siguiendo un patrón determinado. Con este tipo de placas se facilita la construcción provisional o temporal de prototipos electrónicos, sin necesidad de utilizar la técnica de soldadura.

Tanto los componentes electrónicos, como el cableado, se enchufan y desenchufan con facilidad en los orificios sin necesidad de herramientas.

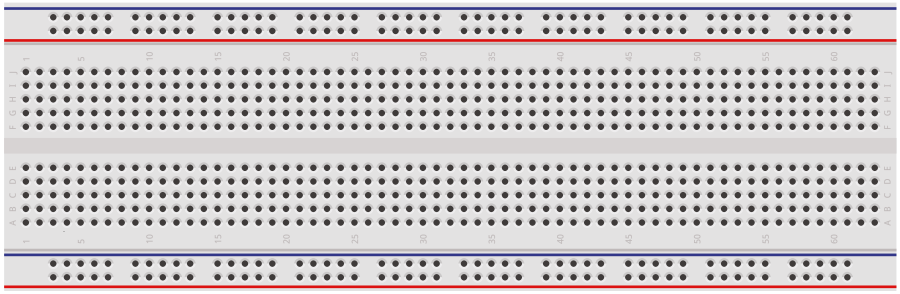


**Figura 2.47.** Aspecto externo de una placa *protoboard.*

### Recuerda

La mayoría de las actividades prácticas planteadas en este libro se pueden llevar a cabo utilizando una placa de prototipos o *protoboard.*

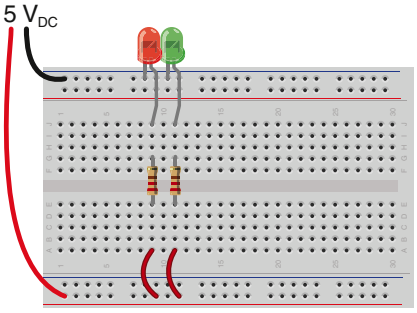



**Figura 2.49.** Montaje para el encendido de dos diodos en una placa *protoboard.*

Las hay de diferentes formas y tamaños, pero en todas ellas el conexionado interno es similar al que se muestra a continuación.

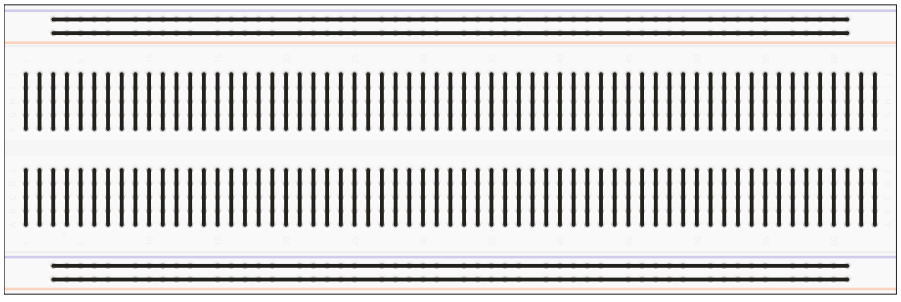


**Figura 2.48.** Conexiones entre orificios de la placa *protoboard.*

Las placas de prototipos suelen disponer de una o más filas ubicadas en su parte superior e inferior, en las que los orificios se unen eléctricamente en horizontal, facilitando así el reparto de la fuente de tensión por toda la placa.

# 7. *Software* de diseño y simulación electrónica

Desde hace años, el *software* de diseño y simulación electrónica se ha convertido en una herramienta imprescindible para el técnico e ingeniero electrónico. Con él es posible realizar desde las más sencillas a las más sofisticadas simulaciones de prototipos, sin necesidad de utilizar previamente los componentes físicos.

En la actualidad, los paquetes de *software* electrónico se han convertido en completas *suites* de desarrollo con multitud de herramientas y características, algunas de ellas muy profesionalizadas, de las cuales se han de destacar las siguientes:

- **Esquemática.** Permiten representar y editar los esquemas electrónicos de forma simple y eficiente, utilizando potentes librerías de símbolos.
- **Simulación.** Es posible realizar simulaciones muy reales del comportamiento de circuitos, tanto de la tecnología analógica como de la digital. Muchas de las aplicaciones disponen de una potente instrumentación virtual, pudiendo simularse el funcionamiento desde un simple polímetro a complejos analizadores de redes, pasando por osciloscopios y generadores de funciones, etc.
- **Fabricación PCB.** Partiendo de la herramienta de esquemática, es posible el diseño de placas de circuito impreso (PCB), bien para imprimir los fotolitos y construirlos de forma manual o bien para fabricarlas con sistemas *hardware* profesionales.

## Recuerda

En la sección ANEXOS, al final del libro, dispones de una lista con algunas de las aplicaciones *software* más utilizadas en la actualidad para diseño y simulación de circuitos electrónicos.

La mayoría de ellas se pueden descargar, para su evaluación, de forma gratuita de internet.

Muchas de las actividades prácticas que se proponen a lo largo del libro serán simuladas con alguna de estas aplicaciones.

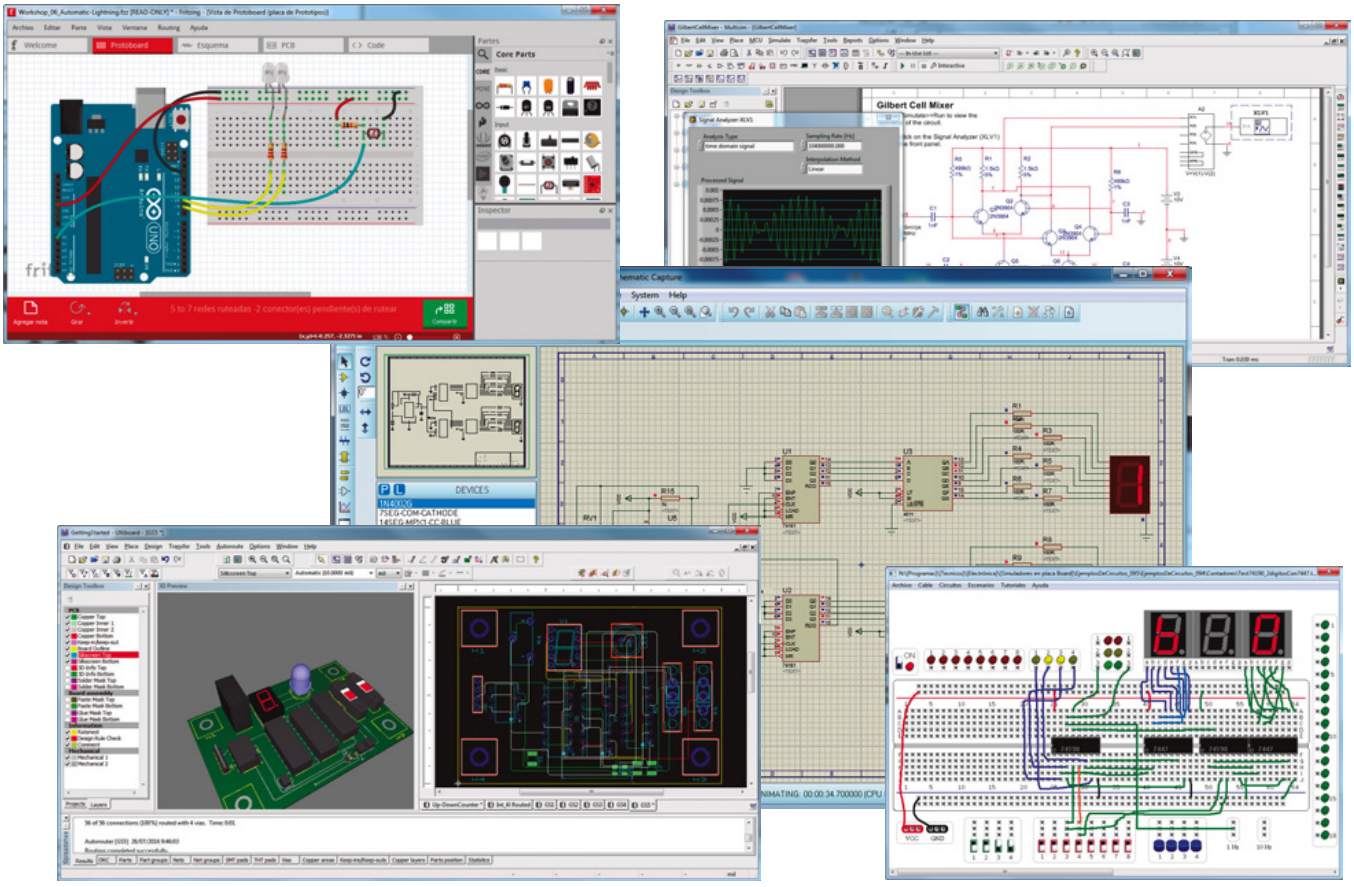



**Figura 2.50.** *Software* de diseño y simulación electrónica (Fritzing, NI Multisim, Proteus, NI Ultiboard, Simulador digital).

# PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA

## Herramientas

- Tijeras de electricista
- Cortacables
- Pinzas
- Polímetro

## Material

- Pila de 9 V
- Placa de pruebas *protoboard*
- Dos resistencias de 1000 Ω (marrón, negro, rojo)

# Medida de tensión y corriente en un circuito DC

## Objetivo

- Medir resistencia, tensión y corriente con el polímetro en un circuito electrónico básico de corriente continua.
- Aplicar la ley de Ohm y calcular el valor de la potencia.

## Precauciones

- Se debe conocer cómo están unidos internamente los orificios de la placa de pruebas *(protoboard)* que se van a utilizar.
- Asegurarse de que las puntas de prueba del polímetro y el conmutador se encuentran en la posición adecuada para la medida que se va a realizar.

## Desarrollo

### Medida de resistencia

1. Conecta las puntas de prueba del polímetro entre los bornes COM y Ω.
2. Conmuta el selector del instrumento para medir un valor óhmico de 1000 Ω.
3. Pon las puntas de prueba entre los dos terminales de la resistencia, mide su valor y anótalo en la tabla de recogida de datos.

### Medida de tensión

4. Coge una placa de prototipos similar a la de la figura.

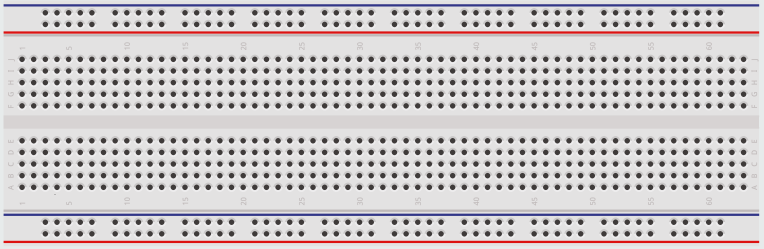


**Figura 2.51.** Placa *protoboard*.

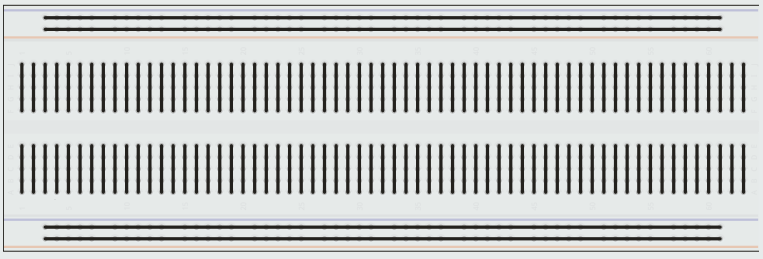


**Figura 2.52.** Conexiones entre orificios.

5. Conecta la resistencia entre dos de los orificios de la placa que no estén unidos eléctricamente entre sí.
6. Pon el portapilas a la pila de 9 V.
7. Conecta los cables del portapilas en los orificios de la placa, de forma que la pila y la resistencia queden conectadas en paralelo.
8. Conecta las puntas de pruebas y el selector del polímetro para medir tensión en corriente continua.

9. Aplica las puntas de prueba entre las dos patillas de la resistencia y anota en el cuaderno de trabajo el resultado de la medida.

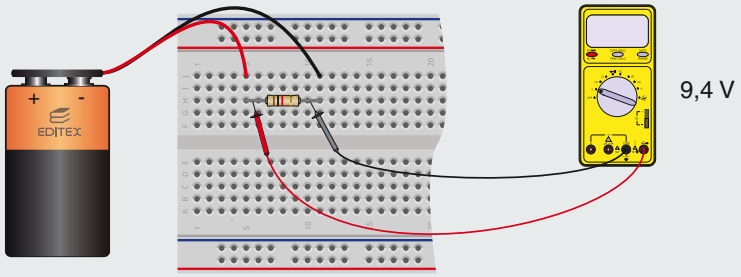



**Figura 2.53.** Medida de tensión en corriente continua.

## Medida de corriente

10. Suelta el positivo de la pila.
11. Conmuta el polímetro para medir intensidad en DC y conexiona las puntas de prueba entre los terminales COM y A. Hay que tener en cuenta que la medida estará en el rango de los miliamperios (mA).
12. Conecta en serie el polímetro con el circuito como se muestra en la figura y anota el resultado en la tabla de recogida de datos.

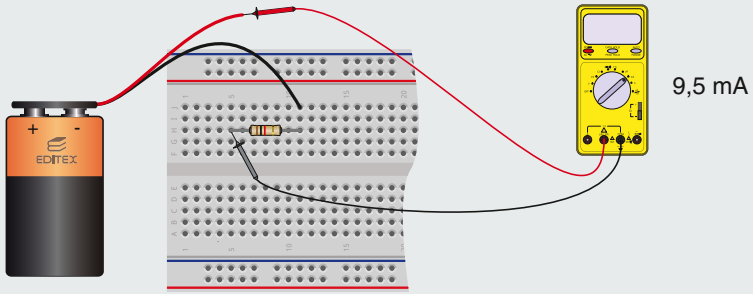



**Figura 2.54.** Medida de intensidad en corriente continua.

## Cálculo de la resistencia por la ley de Ohm

13. Medidos los valores de la tensión (9,4 V) y de la corriente del circuito (9,5 mA), calcula el valor de la resistencia aplicando la ley de Ohm.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{9{,}4\ \text{V}}{0{,}0095\ \text{A}} = 989{,}5\ \Omega$$

## Cálculo de la potencia

14. Con los valores de tensión y corriente, calcula el valor de la potencia disipada en el circuito.

$$P = V \cdot I = 9{,}4\ \text{V} \cdot 0{,}0095\ \text{A} = 0{,}089\ \text{W}$$

15. Anota en tu cuaderno de trabajo las medidas y los resultados de las comprobaciones y compáralas con los de tu compañero de mesa.

| *V* | *I* | *R* (Medida con el polímetro) | *R* (Calculada con la Ley de Ohm) | *P* |
|---|---|---|---|---|
| 9,4 V | 9,5 mA | 990 Ω | 989,5 Ω | 0,089 W |

# TEST DE EVALUACIÓN

RESUELVE EN TU CUADERNO O BLOC DE NOTAS

1. **¿Cuál de estos elementos no está relacionado con la soldadura blanda?**
   a) Estaño.
   b) Soldador.
   c) Decapante.
   d) Electrodo.

2. **El estaño que se utiliza en electrónica suele estar aleado con:**
   a) Aluminio.
   b) Plomo.
   c) Acero.
   d) Hierro.

3. **Una fuente de alimentación de laboratorio:**
   a) Se utiliza para visualizar formas de onda.
   b) Es un aparato que recibe tensión de corriente continua.
   c) Permite generar formas de onda.
   d) Es una fuente de tensión en corriente continua.

4. **Un polímetro:**
   a) Permite realizar dos tipos de medida a la vez.
   b) Muestra formas de onda en su pantalla.
   c) Los hay de tipo analógico y digital.
   d) Genera diferentes tipos de frecuencias.

5. **El terminal COM de un polímetro se utiliza:**
   a) Solo para medir tensión en AC.
   b) Solo para medir tensión en DC.
   c) Es un borne exclusivo para medir intensidad, tanto en AC como en DC.
   d) Es la toma común para todo tipo de medidas.

6. **Para medir el valor óhmico de un componente con un polímetro:**
   a) El componente tiene que estar conectado a una fuente de tensión.
   b) El componente tiene que estar desconectado de cualquier fuente de tensión.
   c) El selector debe estar en $I_{DC}$.
   d) Se deben utilizar puntas de prueba especiales para realizar esta operación.

7. **La comprobación de continuidad es una medida de:**
   a) Resistencia.
   b) Tensión.
   c) Potencia.
   d) Corriente.

8. **Si un osciloscopio tiene dos canales:**
   a) Significa que uno es para AC y otro para DC.
   b) Que solamente puede ser usado para DC.
   c) Que puede mostrar dos señales a la vez.
   d) Que no se puede utilizar con tensiones elevadas.

9. **El selector de la base de tiempos de un osciloscopio es:**
   a) VOLTS/DIV.
   b) AC/GND/DC.
   c) POWER.
   d) TIME/DIV.

10. **El concepto SMD (*surface mount device*) está relacionado con:**
    a) El montaje superficial de componentes.
    b) Las placas de prototipos o *protoboards*.
    c) La medida con osciloscopios.
    d) Es una posición del selector del polímetro.

# ACTIVIDADES FINALES

**1.** Sobre una placa de prototipos, conecta en serie las tres resistencias mostradas en la figura. Conecta el circuito a una fuente de alimentación de tensión variable y, utilizando un polímetro, anota en la tabla los resultados obtenidos en función del valor de tensión ajustado en la fuente.

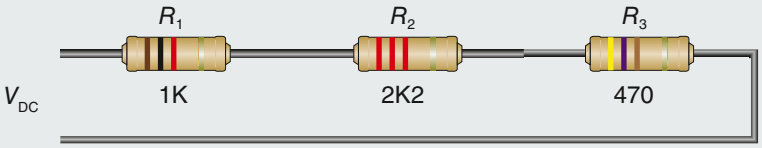



**Figura 2.55.** Resistencias conectadas en serie.

| Tensión de la fuente | $I$ | $V_1$ | $V_2$ | $V_3$ |
|---|---|---|---|---|
| 5 V | | | | |
| 9 V | | | | |
| 12 V | | | | |

CUADERNO

Dibuja un esquema en el que se muestre cómo se deben conectar los instrumentos de medida para medir la tensión en las patillas en cada una de las resistencias y la corriente total del circuito.

Desconectando la fuente de alimentación del circuito, mide con el polímetro el valor de la resistencia del conjunto.

**2.** Utilizando un *software* de simulación electrónica, comprueba los resultados de la actividad anterior.

**3.** Monta en una placa de prototipos tres resistencias en paralelo y, siguiendo el mismo procedimiento utilizado en la actividad número 1, toma las medidas de corrientes y tensiones y anota los resultados en tu cuaderno en una tabla similar a la de la figura.

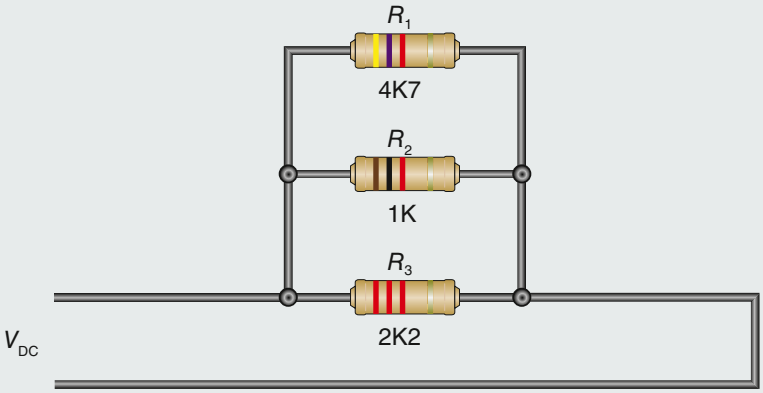



**Figura 2.56.** Resistencias conectadas en paralelo.

| Tensión de la fuente | $I_t$ | $I_1$ | $I_2$ | $I_3$ | $V_1$, $V_2$, $V_3$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 V | | | | | |
| 9 V | | | | | |
| 12 V | | | | | |

CUADERNO

Dibuja un esquema en el que se muestre cómo se deben conectar los instrumentos de medida para medir la tensión en las patillas en cada una de las resistencias, la corriente total del circuito y la corriente de cada una de las resistencias.

Desconectando la fuente de alimentación del circuito, mide con el polímetro el valor de la resistencia equivalente del conjunto.

**4.** Utilizando un *software* de simulación electrónica, comprueba los resultados de la actividad anterior.

# ACTIVIDADES FINALES

**5.** Conecta un generador de funciones a un osciloscopio y ajusta los mandos de ambos instrumentos para mostrar en la pantalla del osciloscopio lo siguiente:

a) Dos ciclos de una señal sinusoidal de 10 V de pico y una frecuencia de 1 KHz.

b) Tres ciclos de una señal sinusoidal de 5 V de pico y una frecuencia de 2 MHz.

c) Cuatro ciclos de una señal cuadrada de 2,5 V de pico y una frecuencia de 500 Hz.

d) Dos ciclos de una señal triangular de 5 V de pico una frecuencia de 7 KHz.

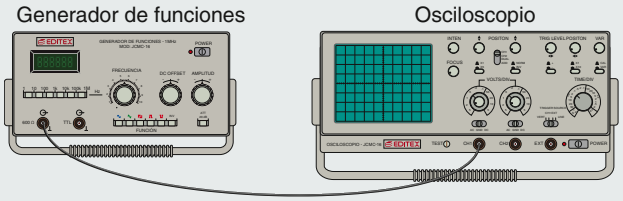



**Figura 2.57.** Generador de funciones y osciloscopio.

**6.** Realiza la actividad anterior con un *software* de simulación electrónica que disponga de simulador de generador de funciones y un osciloscopio. Compara los resultados con los de tu compañero de mesa.

**7.** Si las pantallas de los osciloscopios de la figura están midiendo señales de corriente continua, ¿qué valores están marcando cada uno de ellos según la posición del conmutador VOTL/DIV?

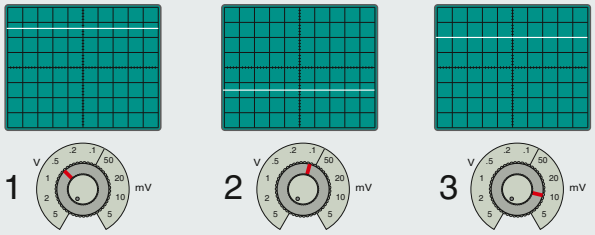



**Figura 2.58.** Osciloscopios de la actividad 7.

**8.** Si los osciloscopios de la figura están midiendo señales de corriente alterna, ¿qué valores máximos están marcando según la posición del conmutador VOTL/DIV? ¿A qué valor eficaz corresponde?

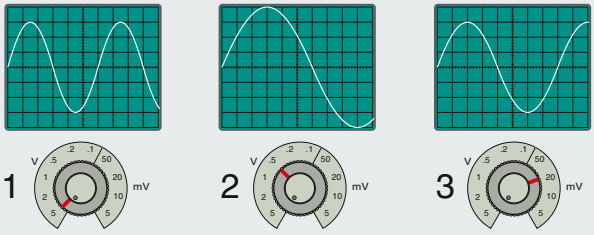



**Figura 2.59.** Osciloscopios de la actividad 8.

**9.** ¿Qué frecuencia está midiendo cada uno de estos osciloscopios, viendo la posición en la que se encuentra el conmutador TIME/DIV?

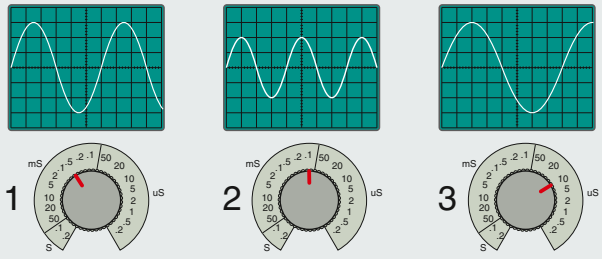



**Figura 2.60.** Osciloscopios de la actividad 9.

# PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 1

## Herramientas

- Tijeras de electricista
- Cortacables
- Polímetro
- Pinzas para electrónica

## Material

- Pila de 9 V y su portapilas
- Placa de pruebas *protoboard*
- Tres resistencias de 1000 Ω (marrón-negro-rojo)
- Cables y puentes para placas de prototipos

# Medidas en un circuito serie y en paralelo

## Objetivo

Medir resistencia, tensión y corriente con el polímetro en circuitos de resistencias en serie y en paralelo.

## Precauciones

- Se debe conocer cómo están unidos internamente los orificios de la placa de pruebas *(protoboard)* que vas a utilizar.
- Asegurarse de que las puntas de prueba del polímetro y el conmutador se encuentran en la posición adecuada para la medida que vas a realizar.

## Desarrollo

1. Inserta las tres resistencias en la placa de pruebas de forma que queden conectadas en serie entre ellas.
2. Utilizando el polímetro, realiza las siguientes medidas:
   a) Resistencia total del conjunto.
   b) Medida de tensión en los terminales de cada una de las resistencias.
   c) Corriente total del circuito.
3. Conecta ahora las tres resistencias en paralelo.
4. Haz las siguientes medidas en el circuito en paralelo:
   a) Resistencia a equivalente del conjunto.
   b) Medida de tensión en los terminales de cada una de las resistencias.
   c) Corriente de cada una de las resistencias.
   d) Corriente total del conjunto.

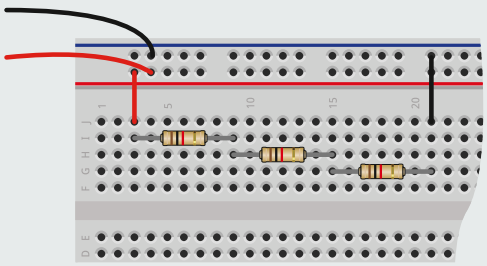


**Figura 2.61.** Resistencias en serie.

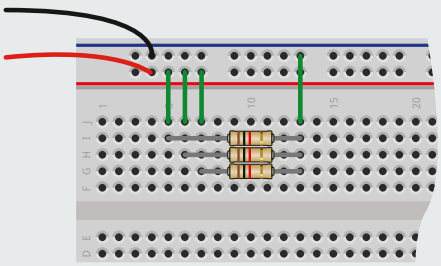


**Figura 2.62.** Resistencias en paralelo.

5. Calcula matemáticamente la resistencia equivalente en ambos circuitos.
6. Anota en tu cuaderno los resultados en una tabla similar a esta.

| General | | $R_1$ | | $R_2$ | | $R_3$ | | $R_{equivalente}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $V$ | $I$ | $V_1$ | $I_1$ | $V_2$ | $I_2$ | $V_3$ | $I_3$ | Medida | Calculada |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

# PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 2

**Herramientas**
- Software de simulación electrónica

## Medidas simuladas en un circuito mixto de resistencias

### Objetivo

Utilizar un programa de simulación de electrónica analógica para medir tensiones, corrientes y resistencias.

### Precauciones

- Conocer la forma de dibujar y simular circuitos en el *software* de simulación elegido.
- Utilizar la instrumentación de forma adecuada.

### Desarrollo

1. En la hoja de trabajo del programa de simulación, dibuja el circuito de asociación mixta de resistencias que se muestra en la figura:

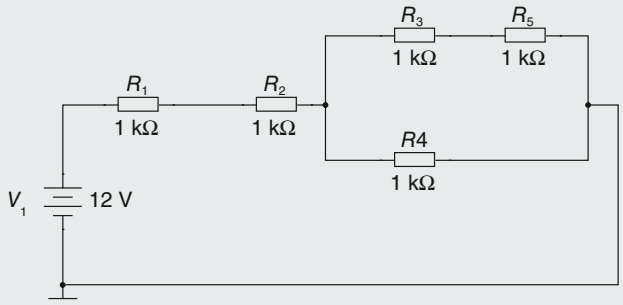
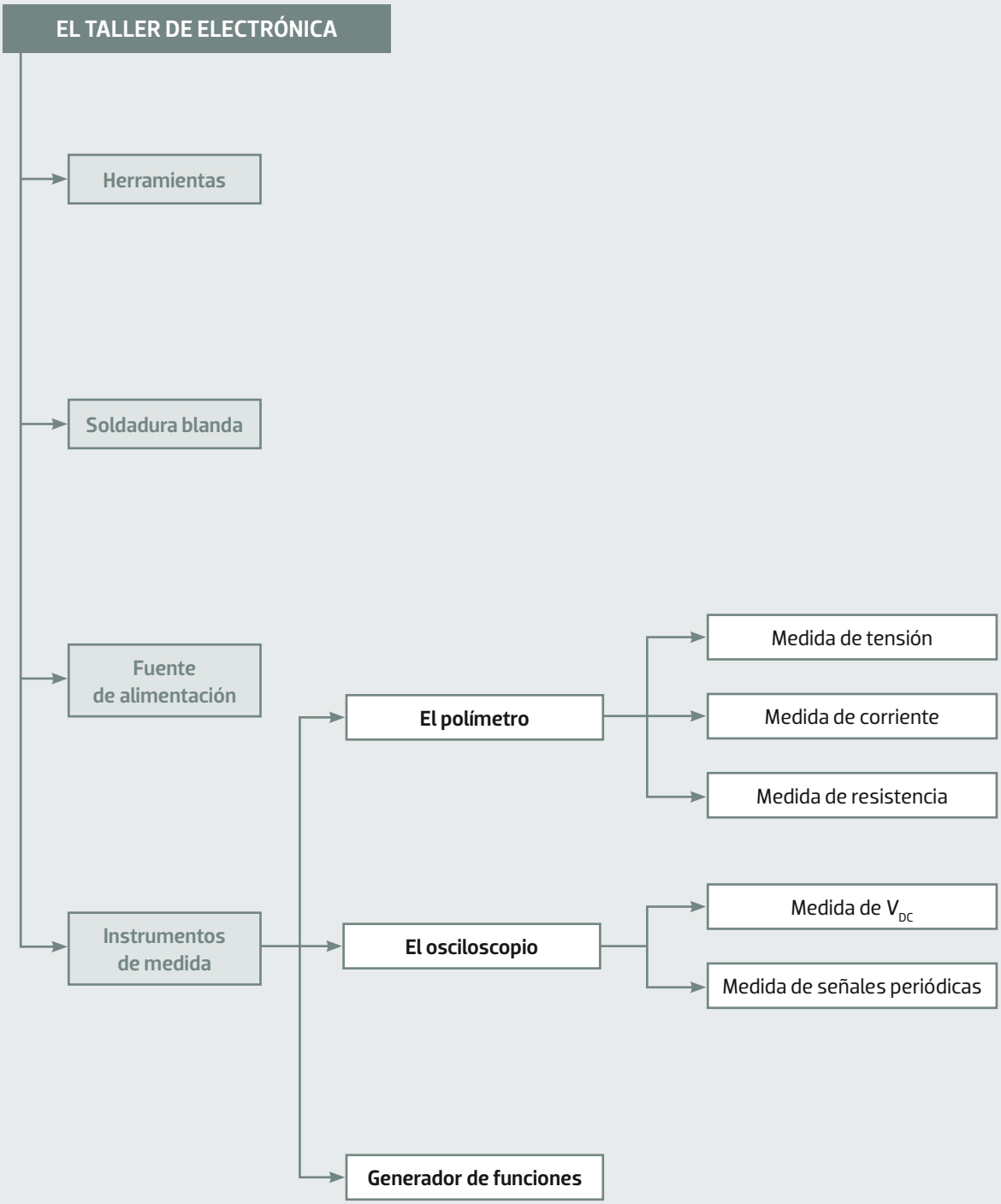



**Figura 2.63.** Circuito para simular.

2. Utilizando la herramienta para medir tensiones, comprueba el voltaje en las siguientes partes del circuito:
   a) En $R_2$.
   b) En el bloque serie de $R_1$ y $R_2$.
   c) En $R_3$.
   d) En el bloque serie $R_3$ y $R_5$.
   e) En el bloque formado por todas las resistencias excepto $R_1$.
3. Haz lo mismo para medir la corriente en las siguientes partes del circuito:
   a) Corriente total del conjunto.
   b) Corriente de $R_2$.
   c) Corriente de la rama serie formada por $R_3$ y $R_5$.
   d) Corriente de la rama formada por $R_4$.
4. Si el programa dispone de una herramienta para medir la resistencia óhmica, comprueba lo siguiente:
   a) Resistencia equivalente del conjunto.
   b) Resistencia total de la rama formada por $R_3$ y $R_5$.
   c) Resistencia equivalente de conjunto $R_3$, $R_5$ y $R_4$.
   d) Resistencia total de $R_1$ y $R_2$.
5. Cambia el valor óhmico de un par de resistencias, por ejemplo $R_1 = 3\ k\Omega$ y $R_4 = 220\ \Omega$, y comprueba cómo cambian los valores medidos de tensión, corriente y resistencia.

# EN RESUMEN


EL TALLER DE ELECTRÓNICA
Herramientas
Soldadura blanda
Fuente de alimentación
Instrumentos de medida
El polímetro
Medida de tensión
Medida de corriente
Medida de resistencia
El osciloscopio
Medida de $V_{DC}$
Medida de señales periódicas
Generador de funciones

# 3 Componentes pasivos

## Vamos a conocer...

1. Resistencias
2. Condensadores (capacitores)
3. Inductancias o bobinas
4. El transformador
5. El relé

PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA

Medidas en circuito de resistencias en serie

PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 1

Medidas en circuito mixto de resistencias

PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 2

Ajuste de tensión con potenciómetro

## Y al finalizar esta unidad...

- Conocerás cuáles son los principales componentes pasivos utilizados en electrónica y cómo se identifican.
- Identificarás el valor de los componentes por su sistema de codificación.
- Calcularás el valor equivalente de circuitos de resistencias y condensadores asociados en serie y en paralelo.
- Realizarás medidas básicas en circuitos de resistencias y condensadores.
- Identificarás las partes de un transformador y de un relé.

# 1. Resistencias

También denominadas resistores, son componentes que permiten disipar energía eléctrica en forma de calor. En electrónica, se utilizan para limitar la corriente y polarizar otros componentes como los diodos o los transistores.

Las principales características que se deben conocer de las resistencias son su valor óhmico y su potencia de disipación.

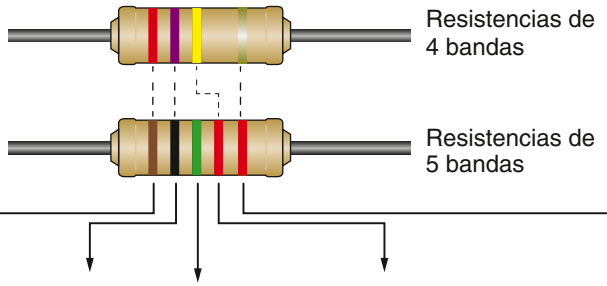
## 1.1. El valor óhmico

Se expresa en ohmios y en sus múltiplos y sus submúltiplos. Dicho valor suele estar impreso en el mismo cuerpo de las resistencias, y puede estar codificado de dos formas:

- Por código de colores.
- Por código alfanumérico.

### 1.1.1. Identificación por código de colores

Consiste en codificar el valor de la resistencia mediante un código de colores estandarizado. Dichos colores se aplican mediante bandas en el propio cuerpo de las resistencias. Así, es posible encontrar resistencias de cuatro, cinco e, incluso, seis bandas, siendo las dos primeras las más utilizadas y las que a continuación se van a estudiar.




| Color | 1.er dígito | 2.º dígito | 3.er dígito | Multiplicador | | Tolerancia |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Negro | – | – | 0 | $\times 10^0$ | ×1 | – |
| Marrón | 1 | 1 | 1 | $\times 10^1$ | ×10 | ± 1 % |
| Rojo | 2 | 2 | 2 | $\times 10^2$ | ×100 | ± 2 % |
| Naranja | 3 | 3 | 3 | $\times 10^3$ | ×1 000 | |
| Amarillo | 4 | 4 | 4 | $\times 10^4$ | ×10 000 | |
| Verde | 5 | 5 | 5 | $\times 10^5$ | ×100 000 | ± 0,5 % |
| Azul | 6 | 6 | 6 | $\times 10^6$ | ×1 000 000 | ± 0,25 % |
| Violeta | 7 | 7 | 7 | $\times 10^7$ | ×10 000 000 | ± 0,10 % |
| Gris | 8 | 8 | 8 | $\times 10^8$ | ×100 000 000 | ± 0,05 % |
| Blanco | 9 | 9 | 9 | $\times 10^9$ | ×1 000 000 000 | |
| Oro | – | – | – | $\times 10^{-1}$ | ×0,1 | ± 5 % |
| Plata | – | – | – | $\times 10^{-2}$ | ×0,01 | ± 10 % |
| Nada | – | – | – | – | | ± 20 % |

**Figura 3.2.** Código de colores para resistencias de cuatro y cinco bandas.

En el caso de las resistencias de cuatro bandas, el valor del código de colores se debe interpretar de la siguiente forma: las dos primeras bandas leídas desde la izquierda corresponden al primer y segundo dígito, la tercera banda es el multiplicador, y la cuarta el valor de la tolerancia.

### Recuerda

Los componentes pasivos son aquellos que no varían su modo de funcionamiento, aunque cambien las condiciones eléctricas en su entorno. Principalmente, pueden ser de tres tipos: resistencias, condensadores y bobinas.

### Recuerda

Recuerda que con el polímetro se puede medir el valor óhmico de una resistencia.

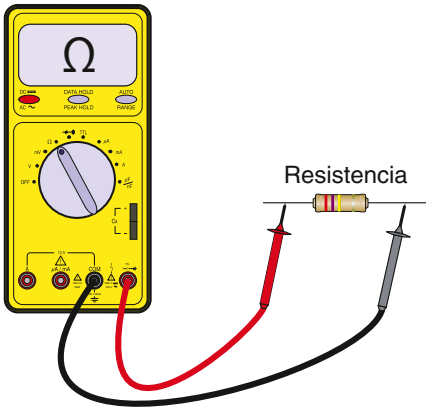



**Figura 3.1.** Comprobación de resistencia con polímetro.

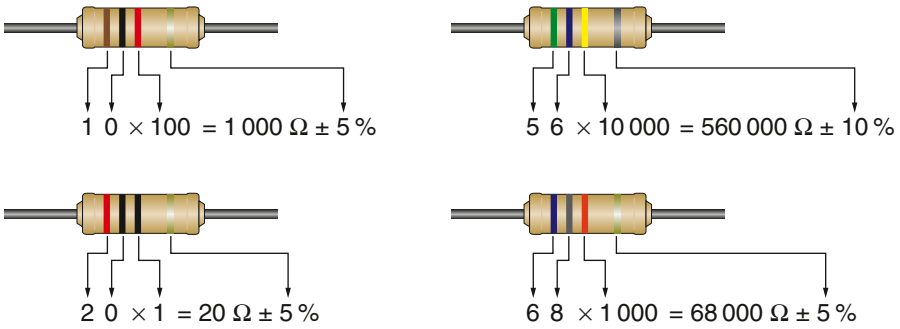



**Figura 3.3.** Ejemplos de aplicación del código de colores en resistencias de cuatro bandas.

La cuarta banda (la tolerancia) suele estar separada de las anteriores. Dicho valor se expresa en tanto por ciento (%) y tiene un valor positivo y negativo. Así, si una resistencia, por el código de colores, tiene un valor de 1000 Ω y una tolerancia de ±5 %, indica que el valor real, medido con el polímetro, puede tener un valor de ±50 Ω, es decir, puede estar comprendido entre 950 y 1050 Ω.

En el caso de las resistencias de cinco bandas, el valor del código de colores se interpreta de forma similar a las anteriores, de forma que las tres primeras bandas corresponden a los tres primeros dígitos, la cuarta banda es el multiplicador, y la quinta es la tolerancia.

## Saber más

Consulta el anexo denominado «Series de resistencias» para conocer los valores que se pueden encontrar en el mercado.

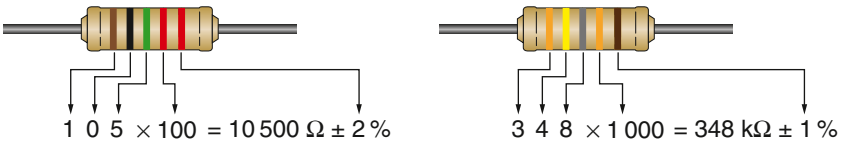



**Figura 3.4.** Ejemplos de aplicación del código de colores en resistencias de cinco bandas.

### 1.1.2. Identificación por código alfanumérico

En muchas ocasiones, especialmente en las resistencias de gran tamaño, el valor óhmico se encuentra estampado por un código alfanumérico. En este caso, se utilizan los siguientes símbolos literales para los múltiplos de ohmios.

- R: para unidades de ohmio.
- K: para kiloohmios.
- M: para megaohmio.

Para valores enteros, el símbolo se pone al final de la cantidad. Para valores con decimales, el símbolo se utiliza a modo de separador entre la parte entera y la parte decimal.

## Saber más

En el sistema de codificación alfanumérico, la tolerancia se expresa mediante una letra.

| | |
|---|---|
| ±1 % | F |
| ±2 % | G |
| ±0,5 % | D |
| ±0,25 % | C |
| ±0,10 % | B |
| ±5 % | J |
| ±10 % | K |
| ±20 % | M |

| Código | Valor en ohmios | Código | Valor en ohmios |
|---|---|---|---|
| 0R47 | 0,47 Ω | 4R7 | 4,7 Ω |
| 0R01 | 0,01 Ω | 10R | 10 Ω |
| 0K38 | 380 Ω | 1K | 1000 Ω |
| 1K2 | 1200 Ω | 100K | 100 000 Ω |
| 1M | 1000 000 Ω | 4M7 | 4 700 000 Ω |

**Tabla 3.1.** Ejemplos de codificación alfanumérica en resistencias.

## 1.2. La potencia de disipación

La potencia que las resistencias son capaces de disipar viene expresada en vatios (W). Así, a mayor número de vatios, mayor tamaño de la resistencia.

Las resistencias de carbón suelen tener potencias normalizadas muy bajas de 1/8, 1/4, 1/2, 1 y 2 W, sin embargo, las resistencias bobinadas se fabrican a partir de 2 W, siendo habituales potencias de 5, 7, 10 y 50 W.

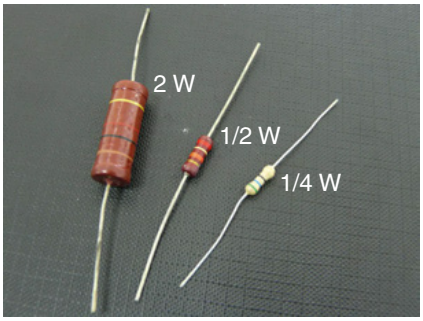



**Figura 3.5.** Diferentes potencias de las resistencias de carbón.

## 1.3. Tipos de resistencias

Las resistencias se pueden clasificar en función de su forma constructiva y composición, o según la forma de variar su valor o modo de funcionamiento.

### 1.3.1. Tipos de resistencias según su construcción

Así, según su construcción o composición, las resistencias se clasifican principalmente en:

- Bobinadas.
- De carbón.
- Metálicas.

#### Resistencias bobinadas

Su construcción se basa en un hilo resistivo bobinado sobre un núcleo cerámico. Son resistencias diseñadas para disipar grandes potencias. Se fabrican a partir de 2 W y se pueden encontrar hasta de 100 W. El valor óhmico de este tipo de resistencias no suele ser muy elevado (como máximo 1 o 2 kΩ), pudiéndose fabricar en valores inferiores al ohmio (desde 0,1 Ω).

Dependiendo del material que cubre el hilo bobinado, pueden ser cerámicas o de cubierta de metálica. Estas últimas facilitan la disipación del calor generado a través de su envoltura.

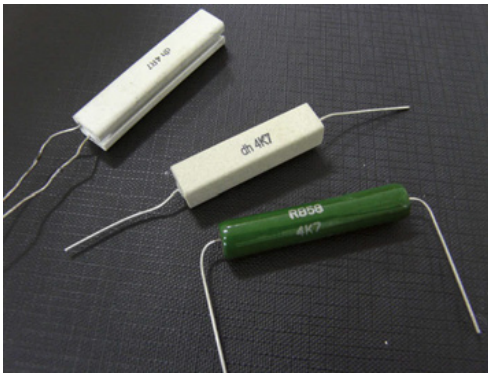



**Figura 3.6.** Resistencias bobinadas de tipo cerámico.

**Figura 3.7.** Resistencia de cubierta metálica.

El paso de corriente a través de ellas genera calor y, además, al estar constituidas por un hilo en forma de bobina, pueden presentar efectos inductivos que podrían resultar perjudiciales en los circuitos en los que se instalan, sensibles a este tipo de interferencias.

Muchos electrodomésticos utilizan resistencias de caldeo o calefactoras, que son de tipo bobinado. Estas no suelen tener valores óhmicos demasiado altos y se conectan directamente a la red eléctrica de 230 $V_{AC}$, para conseguir el efecto deseado.

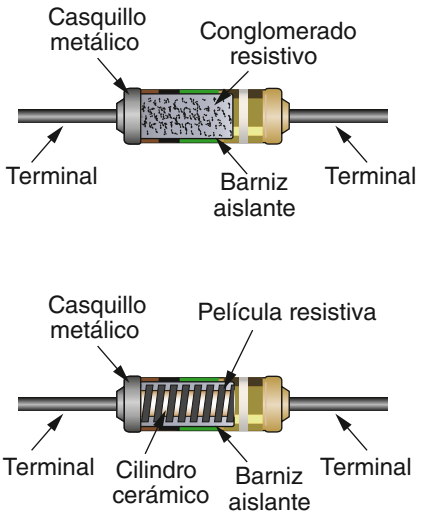



**Figura 3.8.** Tipos de resistencias de carbón.

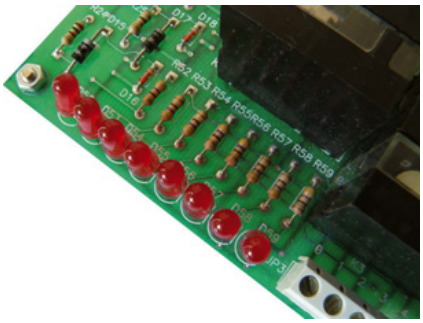


**Figura 3.9.** Resistencias en placa en circuito electrónico.

### Resistencias de carbón

En ellas la parte resistiva se compone principalmente de grafito o carbón mezclado con otros compuestos hasta conseguir el valor que se desea en ohmios.

Las hay de dos tipos principalmente:

- De carbón aglomerado, que están formadas por una masa de grafito mezclada con sílice y resina.
- De película de carbón, en el que la parte resistiva está basada en una fina película de grafito enrollada en espiral sobre un fino núcleo cerámico.

De estos dos tipos, las más empleadas, debido a su estabilidad y precisión, son las de película de carbón.

En ambos casos, la conexión con el circuito exterior se hace mediante dos cazoletas o casquillos metálicos, que deben estar en contacto de forma permanente con el grafito, que a su vez lo está con unos terminales de hilo rígido.

### Resistencias metálicas

Son resistencias en las que el elemento resistivo se basa en una aleación de varios elementos metálicos en lugar de grafito o carbón.

Pueden ser de película metálica o de óxido metálico, siendo las primeras las más utilizadas en la actualidad. Las de película metálica presentan grandes ventajas frente a las de carbón, debido a su gran precisión y a su estabilidad térmica y óhmica cuando están en funcionamiento. Su composición interna tiene una estructura similar a las de película de carbón, siendo, en este caso, el material resistivo de una aleación metálica basada en cromo, níquel, titanio, etc.

La conexión con el circuito exterior se hace también mediante unos casquillos metálicos que unen los terminales con el interior de la resistencia, aunque en ocasiones se comercializan sin terminales, para su soldadura sobre las pistas de la placa de circuito impreso.

Se fabrican en potencias de hasta 2 W y son mucho más duraderas que sus equivalentes de carbón. Con ellas se consiguen mejores tolerancias y, por tanto, mayor precisión.

## 1.3.2. Tipos de resistencia según su modo de funcionamiento

Según su modo de funcionamiento, las resistencias pueden ser fijas y variables.

### Resistencias de valor fijo

Son aquellas que se fabrican con un valor fijo, el cual no se pude variar en condiciones de funcionamiento normales.

Su símbolo es el siguiente:

| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Resistencia (en general) | | | R |

**Tabla 3.2.** Resistencias de valor fijo.

Dentro de este grupo están incluidas las que se han estudiado anteriormente: resistencias bobinadas, de carbón, de película metálica, etc., pero existen otros tipos, como los que se nombran a continuación.

**Redes de resistencias:** son conjuntos de resistencias de valor fijo que se encuentran encapsuladas en el mismo componente.

También son conocidas como *arrays* de resistencias, y disponen de una o más patillas comunes para facilitar su conexión.

La instalación de este tipo de componentes requiere consultar la hoja de características del fabricante para conocer cómo están conectadas internamente las resistencias.

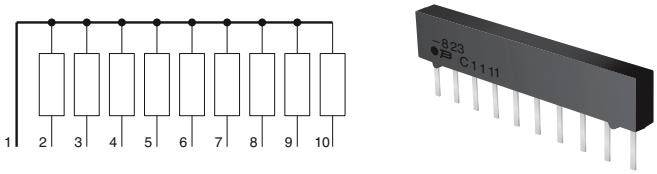



**Figura 3.10.** *Array* de resistencias (cortesía Bourns).

**Resistencias SMD:** son resistencias miniaturizadas para instalar directamente en la placa de circuito impreso por la técnica de soldadura en superficie. El componente resistivo se consigue por una composición de sustrato de alúmina, y no disponen de patillas de conexión en forma de hilo, ya que la soldadura se realiza directamente sobre los casquillos del cuerpo de la resistencia.

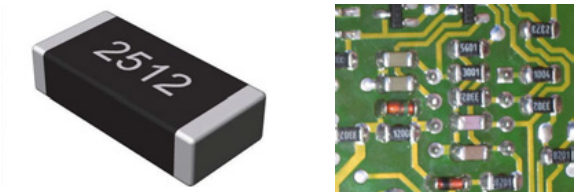


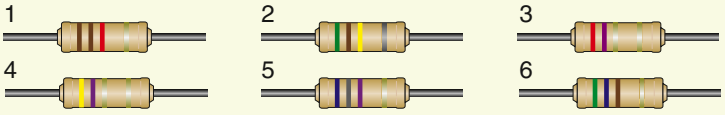

**Figura 3.11.** Resistencia SMD y su instalación en una placa de circuito impreso.

Existen todo tipo de componentes, pasivos y activos, con el formato SMD. Esta tecnología ha permitido reducir enormemente todo tipo de dispositivos electrónicos respecto a los que se fabricaban hace décadas.

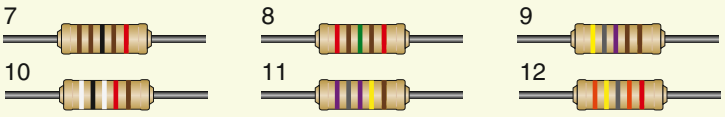
## Actividades

**1.** Di que valores tienen las siguientes resistencias:

**Resistencias de cuatro bandas:**




**Resistencias de cinco bandas:**




**Resistencias con código alfanumérico:**

| | |
|---|---|
| 0R22 | 3r3 |
| 3k3 | 10R |
| 0k47 | 1M |
| 2k2 | 100R |

## Vocabulary

- Bobina: *coil, inductor.*
- Condensador: *capacitor.*
- Devanado: *winding.*
- Faradio: *fard.*
- Patilla: *pin.*
- Película de carbón: *carbon film.*
- Potencia: *power.*
- Potenciómetro: *potenciometer.*
- Relé: *relay.*
- Resistencia: *resistor.*
- Superficie: *surface.*
- Valor: *value.*

## Resistencias variables

Son aquellas que permiten ajustar su valor, bien de forma manual o por algún parámetro o magnitud física externa (luz, temperatura, etc.).

**Potenciómetros:** disponen de un mando de ajuste manual, que permite variar su valor entre un mínimo y un máximo. Pueden ser giratorios, lineales-deslizantes, miniatura, múltiples, etc.

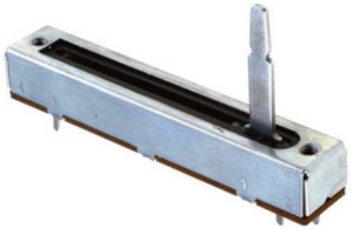


**Figura 3.12.** Potenciómetro deslizante.

**Figura 3.13.** Potenciómetro estándar.

**Figura 3.14.** Potenciómetro doble para aplicaciones de audio.

Un potenciómetro dispone habitualmente de tres patillas de conexión. Las dos de los extremos están conectadas a una base de material resistivo de valor fijo, normalmente basado en carbón. El terminal central se encuentra conectado al cursor deslizante, que se apoya en la capa de material resistivo y se mueve mediante el mando externo del potenciómetro. Así, dependiendo de la posición en la que se encuentre el cursor, el valor resistivo varía entre el terminal común y cualquiera de los de los extremos.

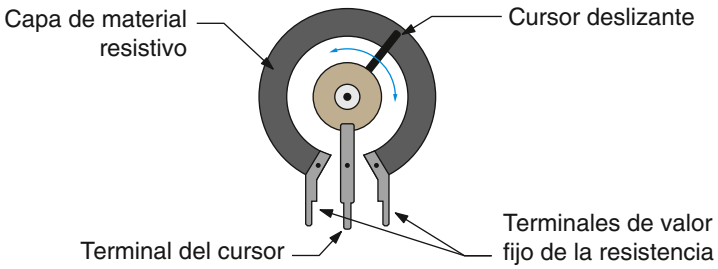



**Figura 3.15.** Detalle interno de un potenciómetro.

El valor de los potenciómetros se da en ohmios y corresponde al valor máximo que se puede ajustar.

La escala de los potenciómetros puede ser lineal o logarítmica. En el primer caso, el cambio de valor es constante en todo el recorrido del cursor. Sin embargo, en los potenciómetros de tipo logarítmico, el cambio de valor no es lineal, ya que el valor en ohmios avanzado por cursor, para un mismo ángulo de desplazamiento, no es el mismo si este se produce al principio o al final del recorrido. Los potenciómetros con escala logarítmica se suelen utilizar en aplicaciones de audio y sonorización.

**Resistencias ajustables:** también conocidas por su denominación en inglés *trimmers,* son resistencias variables cuyo funcionamiento es idéntico al de los potenciómetros, pero, en este caso, el ajuste se hace mediante una herramienta, como puede ser un destornillador.

Las hay de diferentes tipos y formas, pero la mayoría están diseñadas para su montaje en una placa de circuito impreso, mediante la técnica de soldadura.

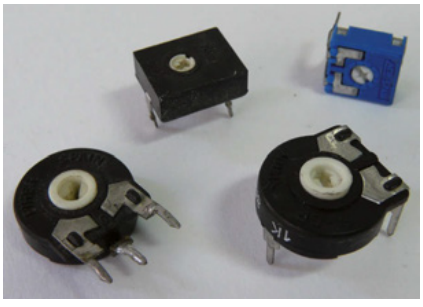


**Figura 3.16.** Diferentes tipos de resistencias ajustables o *trimmers*.

**Resistencias dependientes de la luz:** también conocidas por fotorresistencias, o por su abreviatura LDR (del inglés *light dependent resistor*), son resistencias que varían su valor óhmico en función de la luz que reciben. Cuando la luz aumenta, disminuye el valor de la resistencia.

**Resistencias dependientes de la tensión:** también conocidas como varistores, son resistencias que cambian su valor si se sobrepasa un valor de tensión de umbral. Se instalan en paralelo con el circuito de alimentación. En condiciones normales, dichas resistencias tienen un valor óhmico muy elevado, permitiendo así el paso de la corriente, pero cuando se someten a los valores de tensión de umbral, se cortocircuitan, impidiendo la alimentación del circuito en el que se encuentran instaladas.

**Resistencias dependientes de la temperatura:** también conocidas como termistores, son resistencias que varían su valor óhmico en función de la temperatura de su entorno, y las hay de dos tipos:

- NTC: que disminuye la resistencia cuando aumenta la temperatura. Se dice que tiene coeficiente térmico negativo.
- PCT: que aumenta la resistencia cuando aumenta la temperatura. Se dice que tiene coeficiente térmico positivo.

Son muy utilizadas para fabricar todo tipo de dispositivos electrónicos que requieren controlar la temperatura.

Los símbolos de las resistencias variables son:

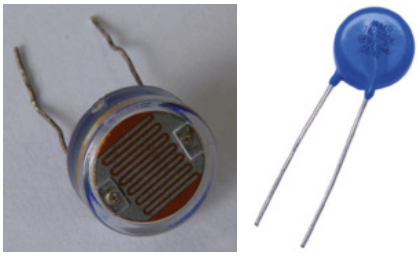


**Figura 3.17.** Fotorresistencia (LDR) y varistor.

**Figura 3.18.** Diferentes tipos de termorresistencias (cortesía EPCOS).

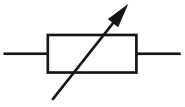
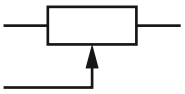
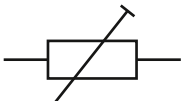
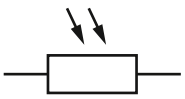
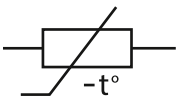
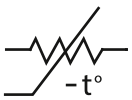
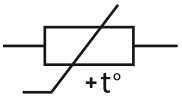
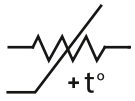
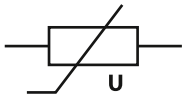
| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Potenciómetro (dos formas) |  | | R |
| |  | | |
| Resistencia ajustable |  | | R |
| Resistencia dependiente de la luz (LDR) |  | | R |
| Resistencia NTC (coeficiente negativo) |   |   | R |
| Resistencia PTC (coeficiente positivo) |   |   | R |
| Varistor |   | | R |

**Tabla 3.3.** Resistencias variables.

## 1.4. Asociación de resistencias

Las resistencias, al igual que otro tipo de receptores eléctricos, se pueden conectar de dos formas: en serie y en paralelo. Así, el valor del circuito equivalente de dicha asociación es el que se muestra a continuación.

### 1.4.1. Resistencias en serie

La resistencia equivalente del circuito es el resultado de sumar cada uno de los valores de las resistencias.

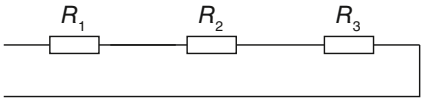



**Figura 3.19.** Resistencias en serie.

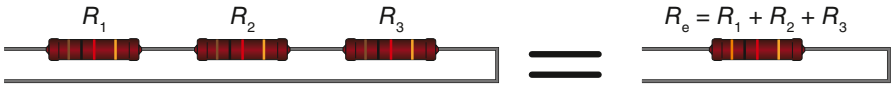



**Figura 3.20.** Resistencia equivalente de un circuito serie.

El valor de un grupo de resistencias en serie es equivalente a sustituir dicho grupo por una única resistencia que coincide con el resultado de la suma del valor óhmico de todas ellas.

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3$$

### 1.4.2. Resistencias en paralelo

De igual forma, cuando se asocian resistencias en paralelo, el valor equivalente de grupo corresponde con la siguiente relación matemática:

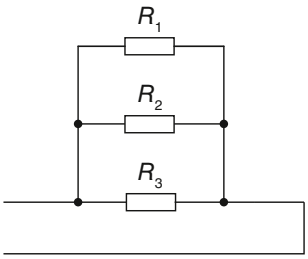



**Figura 3.21.** Resistencias en paralelo.

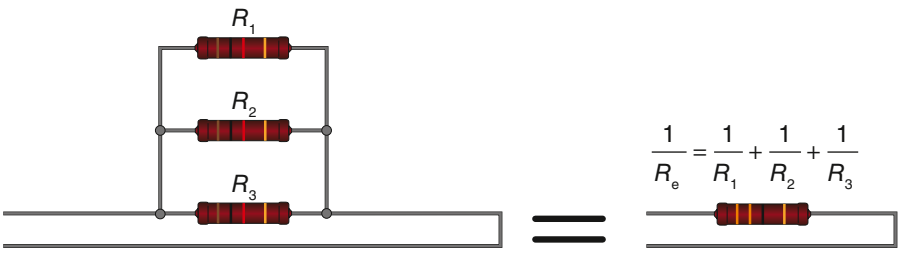



**Figura 3.22.** Resistencia equivalente del circuito paralelo.

Así, se puede decir que la resistencia equivalente de un circuito paralelo es la inversa de la suma de las inversas de las demás resistencias.

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

### 1.4.3. Divisor de tensión

Es un circuito de dos resistencias conectadas en serie en el que, aprovechando la caída de tensión que se produce en ellas, se consigue en su salida una tensión reducida respecto a la de la alimentación de entrada. Su uso es muy frecuente en electrónica para adaptar las tensiones de trabajo. La relación matemática entre las resistencias y las tensiones es la siguiente:

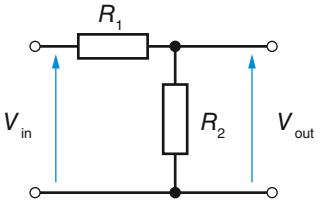



**Figura 3.23.** Circuito divisor de tensión.

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{in}$$

### Saber más

En un circuito de resistencias en paralelo, el valor de la resistencia equivalente ($R_e$) siempre será menor valor que cualquiera de las resistencias asociadas.

# 2. Condensadores (capacitores)

También denominados capacitores, son componentes pasivos que tienen la propiedad de almacenar energía. De esta forma, aprovechando su carga y su descarga, es posible utilizarlos en circuitos electrónicos para filtrar señales, acoplar circuitos, construir osciladores, etc.

Los condensadores están formados por dos láminas metálicas (armaduras), separadas por un elemento dieléctrico como puede ser el papel, el poliéster, un material cerámico, etc.

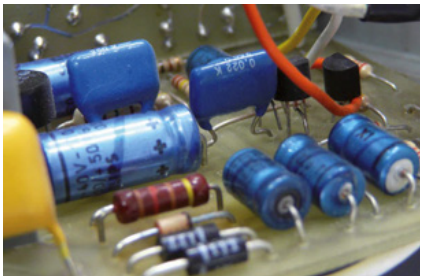


**Figura 3.24.** Diferentes tipos de condensadores en un circuito electrónico.

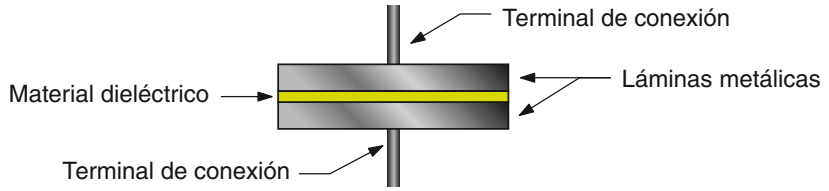



**Figura 3.25.** Partes de un condensador.

Las principales características eléctricas de los condensadores son su capacidad y su tensión de trabajo.

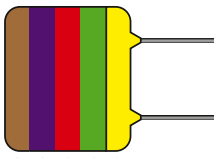
## 2.1. El valor de los condensadores

La capacidad del condensador se mide en faradios (F), no obstante, al ser una unidad muy grande, el valor de los condensadores siempre se da en submúltiplos del faradio como el microfaradio (μF), el nanofaradio (nF) y el picofaradio (pF). Dicho valor suele estar impreso en el mismo cuerpo de los condensadores, e igual que en las resistencias, puede estar codificado por un código de colores (casi en desuso) o por un código alfanumérico.

**Figura 3.26.** Condensadores codificados por colores.

### 2.1.1. Identificación por código de colores

Se utilizan en condensadores con cinco bandas de colores. Las tres primeras se aplican de la misma forma que en las resistencias. Los dos primeros colores son los dos primeros dígitos, y el tercer color es el multiplicador. El valor de estos condensadores se obtiene en picofaradios (pF).




| Color | Primer dígito | Segundo dígito | Multiplicador | Tolerancia | Tensión |
|---|---|---|---|---|---|
| Negro | - | 0 | 0 | +-/ 20 % | - |
| Marrón | 1 | 1 | × 10 | +-/ 1 % | 100 V |
| Rojo | 2 | 2 | × 100 | +-/ 2 % | 250 V |
| Naranja | 3 | 3 | × 1000 | - | - |
| Amarillo | 4 | 4 | × 10 000 | - | 400 V |
| Verde | 5 | 5 | × 100 000 | +-/ 5 % | - |
| Azul | 6 | 6 | × 1 000 000 | - | 630 V |
| Violeta | 7 | 7 | × 10 000 000 | - | - |
| Gris | 8 | 8 | × 100 000 000 | - | - |
| Blanco | 9 | 9 | × 1000 000 000 | +-/ 10 % | - |

**Figura 3.27.** Tabla de colores para condensadores.

La cuarta banda de color corresponde a la tolerancia, y la quinta, y última, a la tensión de trabajo del condensador.

## Saber más

Muchos polímetros permiten comprobar el valor de los condesadores.

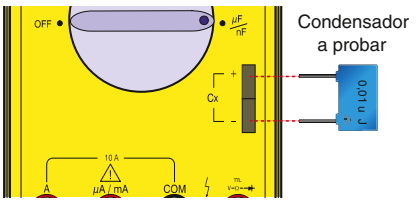



**Figura 3.28.** Medida de un condensador con polímetro.

| Letra | Tolerancia |
|---|---|
| F | +/– 1 % |
| G | +/– 2 % |
| J | +/– 5 % |
| K | +/– 10 % |
| M | +/– 20 % |

**Tabla 3.4.** Tolerancia de los condensadores.

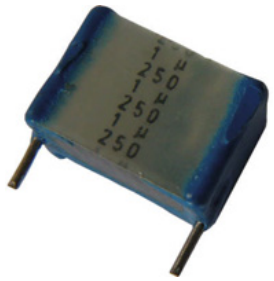


**Figura 3.29.** Condensador con código alfanumérico para representar su valor.

### Recuerda

1 µF = 0,000001 F

1 nF = 0,000000001 F

1 pF = 0,000000000001 F

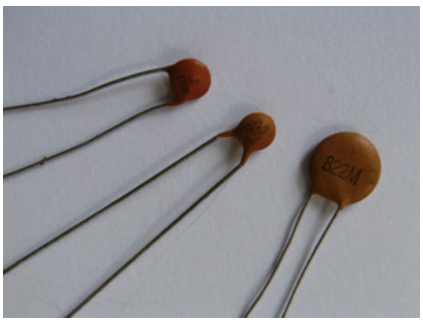


**Figura 3.30.** Condensadores cerámicos.

### 2.1.2. Identificación por código alfanumérico

En este caso, el valor del condensador, expresado en picofaradios, se muestra mediante tres cifras y una letra. Las dos primeras corresponden a las unidades y las decenas, el tercer número indica la cantidad de ceros que hay detrás de las dos primeras unidades, y la letra es la tolerancia.

Véanse los siguientes ejemplos:

- 473F = 47 000 pF +/– 1 %
- 224J = 220 000 pF +/– 5 %
- 101K = 100 pF +/– 10 %
- 102M = 1 000 pF +/– 20 %

También existen otras formas de expresar el valor de la capacidad del condensador:

**Ejemplo 1.** En ocasiones no se expresan las unidades, simplemente se muestra un número decimal, cuyo valor viene dado en nanofaradios.

- 0,047 = 47 nF
- 0,68 = 68 nF

**Ejemplo 2.** Otras veces, el valor viene expresado mediante la letra k (de kilo). En este caso, k equivale a nF (nanofaradios).

- 10 k = 10 nF
- 22 k = 22 nF

**Ejemplo 3.** En otras ocasiones, la letra de las unidades se utiliza como separador de la parte entera y decimal.

- µ1 = 100 nF
- 4n7 = 4k7 = 4 700 pF

## 2.2. Tipos de condensadores

De igual forma que las resistencias, pueden tener valor fijo o variable. Así, los condensadores de valor fijo más utilizados son los que se enumeran a continuación:

**De poliéster:** no están polarizados y reciben su nombre por el tipo de material dieléctrico que se encuentra entre sus armaduras. Tienen forma plana o cilíndrica y su valor de capacidad suele ser inferior a 1 µF, aunque en aplicaciones especiales, como en los filtros de altavoces, etc., se pueden encontrar de mayor valor.

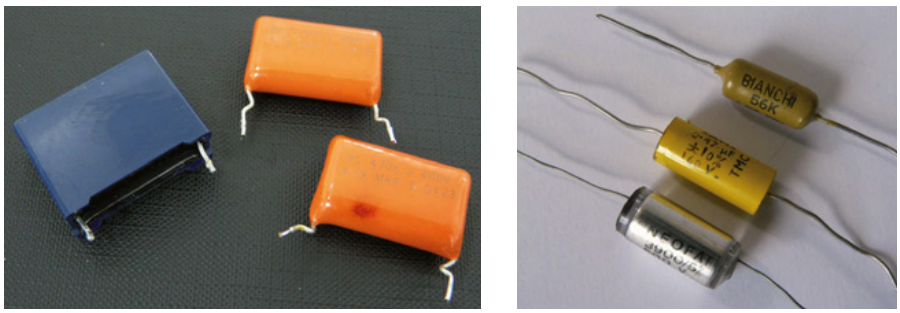


**Figura 3.31.** Diferentes tipos de condensadores de poliéster.

**Cerámicos:** también denominados de *lenteja*, son de pequeño tamaño, y el dieléctrico es de material cerámico. Se fabrican para valores de capacidad muy bajos, menores de 1 000 pF.

**Condensadores SMD:** también conocidos como condensadores multicapa, o condensadores «chip». Son componentes de un tamaño muy reducido, que no disponen de terminales, ya que se sueldan directamente en las pistas de las placas de circuito impreso mediante unos pequeños casquillos metálicos que tiene en sus extremos.

**Electrolíticos:** son condensadores cuyas armaduras están formadas por dos láminas de aluminio entre las que se ha insertado un papel impregnado en un líquido electrolítico. Estos condensadores están polarizados, por tanto, para su conexión es necesario respetar escrupulosamente su polaridad. Tienen forma cilíndrica y se fabrican para capacidades elevadas, superiores a 1 µF, pudiéndose encontrar incluso en valores superiores a 47 000 µF.

Pueden ser de dos tipos: axiales o radiales. Los axiales disponen de un terminal en cada una de las caras del cuerpo del condensador, y el terminal positivo se marca mediante una muesca en el cuerpo del condensador. Los de tipo radial tienen los terminales en la misma cara. El terminal negativo se distingue del positivo por una marca estampada en su envoltura. Cuando el condensador está sin usar, el terminal positivo es más largo que el negativo.

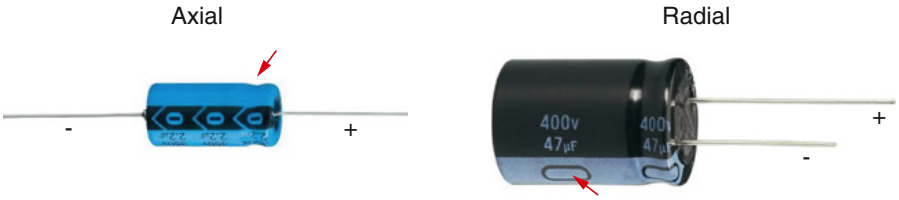



**Figura 3.34.** Tipos de condensadores electrolíticos.

Además de la capacidad, otra característica importante del condensador electrolítico es su tensión de trabajo. En ningún caso se sustituirá un condensador con una tensión menor que la que requiere el circuito en el que trabaja, ya que se destruiría.

**Supercondensadores:** son condensadores electroquímicos polarizados, con valores de capacidad muy altos (superiores al faradio), y un tamaño muy reducido. Su valor puede ser cientos de veces superior a los electrolíticos.

**Condensadores de tantalio:** también conocidos como condensadores de *gota*, son una variante de los condensadores electrolíticos, con la diferencia de que, para la construcción de sus armaduras, utilizan tantalio en lugar de aluminio. Están polarizados y se fabrican para valores de capacidad entre 0,1 µF y 100 µF.

**Condensadores ajustables:** son condensadores que permiten variar su valor de forma manual, bien por un mando o un ajuste basado en tornillo *(trimmer)*.

| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Condensador en general | | | C |
| Condensador polarizado (dos formas) | | | C |
| Condensador ajustable | | | C |

**Tabla 3.5.** Tipos de condensadores.

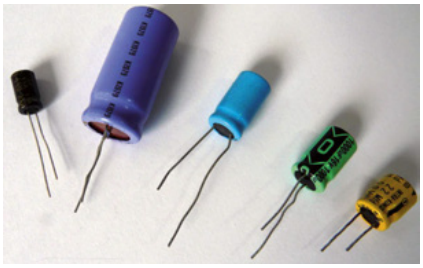


**Figura 3.32.** Condensadores electrolíticos.

## Saber más

Los supercondensadores están sustituyendo a las baterías en muchos equipos que requieren mantener de forma permanente datos en memoria.

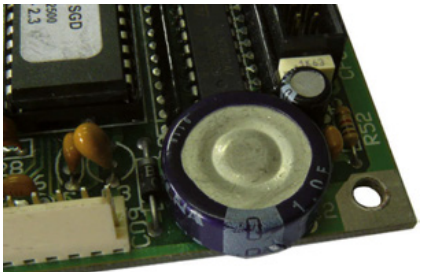


**Figura 3.33.** Supercondensador en circuito.

**Figura 3.35.** Condensador de tantalio.

**Figura 3.36.** Condensadores ajustables (cortesía de Murata y Conrad).

## Saber más

En un circuito de condensadores en paralelo, el valor resultante siempre será de mayor valor que cualquiera de los valores de cada uno de los condensadores del circuito. Sin embargo, en un circuito de condensadores en serie, la capacidad equivalente será de menor valor que cualquiera de los condensadores asociados.

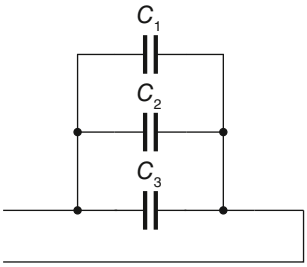



**Figura 3.37.** Condensadores en paralelo.

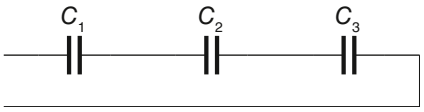



**Figura 3.39.** Condensadores en serie.

# 2.3. Asociación de condensadores

Al igual que las resistencias, los condensadores se pueden asociar en serie o en paralelo.

## 2.3.1. Condensadores en paralelo

El valor de un grupo de condensadores en serie es equivalente a sustituir dicho grupo por un único condensador que coincide con el resultado de la suma del valor capacitivo de cada uno de ellos.

**Figura 3.38.** Condensadores en paralelo.

## 2.3.2. Condensadores en serie

La capacidad equivalente de un circuito de condensadores en serie es la inversa de la suma de las inversas de cada uno de los condensadores.

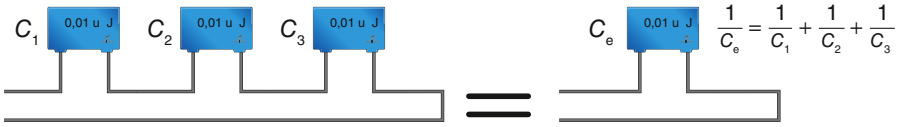



**Figura 3.40.** Resistencia equivalente de un circuito serie.

Si los condensadores están polarizados, como es el caso de los de tipo electrolítico, se debe tener en cuenta la polaridad de los terminales, según se muestra en la figura.

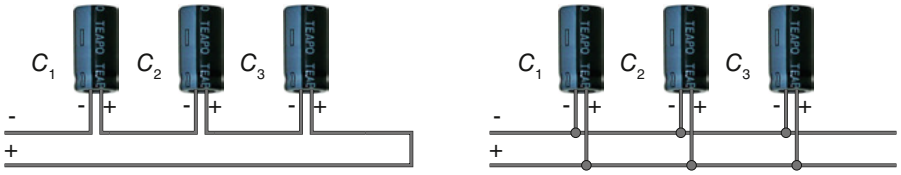
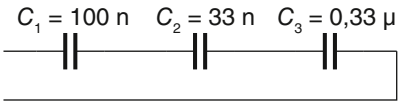



**Figura 3.41.** Asociación de condensadores polarizados: en serie y en paralelo.

## Ejemplo

**Calcula la capacidad equivalente del siguiente circuito de condensadores en serie.**




Se pasan todos los valores a las mismas unidades para poder operar. En este caso, la mejor opción es trabajar en nF, por tanto, el resultado final también será en dichas unidades. Así: $C_1 = 100$ nF, $C_2 = 33$ nF y $C_3 = 330$ nF.

El valor de la capacidad equivalente se obtiene sustituyendo cada uno de los valores en la expresión de cálculo y operando entre ellos, sabiendo que el mcm (mínimo común múltiplo) es 3 300.

$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{100} + \frac{1}{33} + \frac{1}{330} = \frac{33+100+10}{3300} = \frac{143}{3300}$$

La capacidad equivalente es el valor inverso de resultado anterior: $\frac{1}{C_e} = \frac{143}{3300}$; $C_e = \frac{3300}{143} = 23{,}077$ nF

# 3. Inductancias o bobinas

También denominadas *choques* o *inductores*, tienen como misión almacenar y liberar energía mediante fenómenos basados en campos magnéticos. Se utilizan como filtros, sintonizadores, supresores de interferencias, etc.

El valor de la inductancia (*L*) viene dado en henrios (H) y, de igual forma que ocurre con la capacidad de los condensadores, al ser el henrio una unidad muy grande, el valor se suele dar utilizando submúltiplos: milihenrios (mH) y microhenrios (μH).

Los símbolos de las bobinas o inductores son los siguientes:

| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Bobina en general (dos formas) | | | L |
| Bobina con núcleo de ferrita | | | L |
| Bobina con núcleo de hierro | | | L |

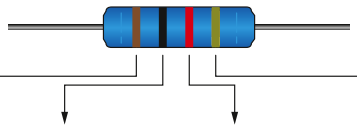
**Tabla 3.6.** Tipos de inductores.

## 3.1. Tipos de inductores

Los inductores pueden presentarse con varias formas y tamaños. Los que se muestran a continuación son los más comunes.

**Bobinas:** están construidas de hilo esmaltado y pueden tener o no tener núcleo. Aquellas que tienen núcleo pueden ser de hierro o ferrita. Si el núcleo es de tipo circular, se las denomina *bobinas toroidales* o *toroides*.

**Inductores encapsulados o moldeados:** presentan la forma de otros componentes electrónicos, como pueden ser las resistencias. En ellos el valor puede estar rotulado en el cuerpo del componente, mediante un código alfanumérico, o mediante el ya conocido sistema de bandas de colores. En este caso, el valor se obtiene en microhenrios (μH).



| Color | 1.er dígito | 2.º dígito | Multiplicador | Tolerancia |
|---|---|---|---|---|
| Negro | 0 | 0 | $\times 10^0$ ×1 | ±20 % |
| Marrón | 1 | 1 | $\times 10^1$ ×10 | |
| Rojo | 2 | 2 | $\times 10^2$ ×100 | |
| Naranja | 3 | 3 | $\times 10^3$ ×1000 | |
| Amarillo | 4 | 4 | $\times 10^4$ ×10 000 | |
| Verde | 5 | 5 | | |
| Azul | 6 | 6 | | |
| Violeta | 7 | 7 | | |
| Gris | 8 | 8 | | |
| Blanco | 9 | 9 | | |
| Oro | – | – | $\times 10^{-1}$ × 0,1 | ±5 % |
| Plata | – | – | $\times 10^{-2}$ × 0,01 | ±10 % |

**Figura 3.45.** Código de colores para inductores de tipo moldeado.

Bobina lineal con núcleo de ferrita (cortesía Fastron).

Bobina con núcleo toroidal (cortesía Radionm).

**Figura 3.42.** Tipos de bobinas.

### Saber más

**En tu profesión**

De igual forma que con las resistencias y con los condensadores, existen bobinas o inductores variables (con o sin núcleo) a los cuales se les puede ajustar el valor entre un mínimo y un máximo.

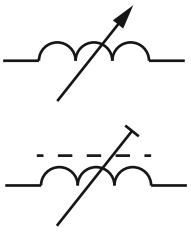


**Figura 3.43.** Ejemplos de bobinas variables o ajustables.

### Saber más

**En tu profesión**

En el mercado existen medidores de inductancias, estos suelen recibir también el nombre de polímetro RLC.

**Figura 3.44.** Medidor de inductancias (cortesía Mastech).

# 4. El transformador

## Saber más

La corriente continua no se puede transformar. Solamente es posible transformar la corriente alterna.

Un transformador es una máquina eléctrica estática que funciona por el efecto de inducción magnética. Está formado por dos bobinas, denominadas *devanados*. Uno es el devanado primario, al que se le aplica tensión de entrada, y por el que circula una corriente que induce un campo magnético en el núcleo. Y otro es el secundario, en el que el campo magnético producido por el primero induce una corriente en la bobina, de forma que en sus bornes se genera una tensión proporcional a la del primario, en función del número de espiras de un devanado respecto al otro.

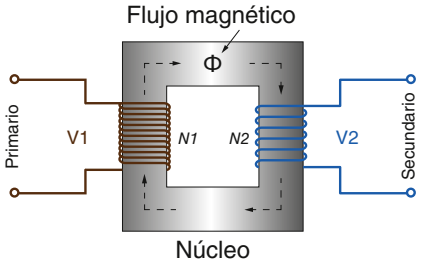



**Figura 3.46.** Representación de un transformador.

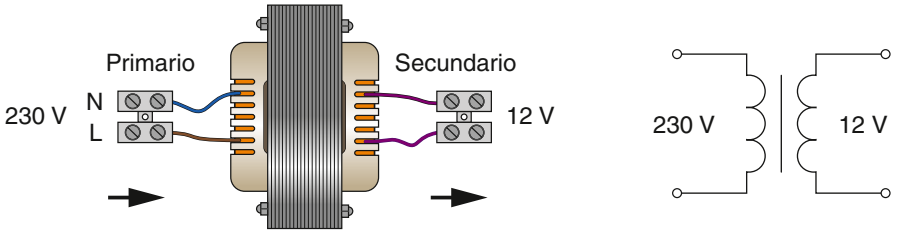



**Figura 3.47.** Ejemplo de uno de 230 $V_{AC}$ a 12 $V_{AC}$.

Así, se denomina relación de transformación *N* a la razón existente entre el número de espiras del secundario respecto al primario o, también, a la razón entre la tensión, en voltios, del secundario respecto al primario.

$$N = \frac{n_s}{n_p} = \frac{U_s}{U_p}$$

## Saber más

Otro símbolo aceptado para representar el transformador es el siguiente:

**Figura 3.48.** Símbolo del transformador.

El símbolo del transformador es el siguiente:

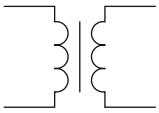
| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Transformador |  | | U |

**Tabla 3.7.** El transformador.

Los transformadores de los equipos electrónicos pueden ser de diferentes tipos. Desde los clásicos, en los que el núcleo magnético está a la vista y las conexiones se realizan soldando cables a sus terminales, a los encapsulados, diseñados para ser soldados directamente sobre placas de circuito impreso.

En numerosas ocasiones, tanto el primario como el secundario disponen de tomas intermedias en sus devanados. Esto permite que el mismo transformador sea usado para diferentes valores de tensión, en función de las tomas utilizadas.

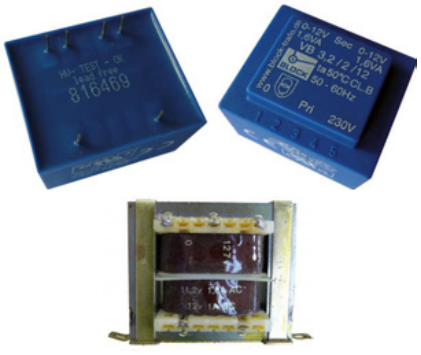


**Figura 3.49.** Diferentes tipos de transformadores utilizados en electrónica.

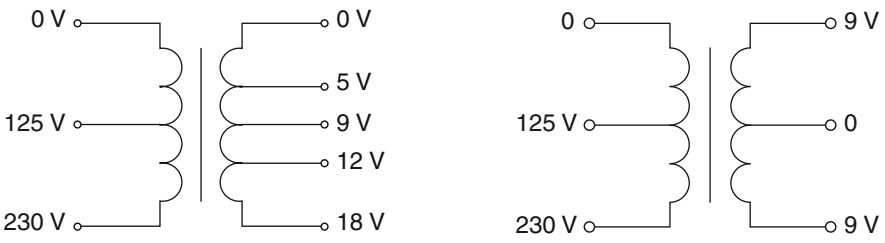



**Figura 3.50.** Ejemplos de transformadores multitoma.

# 5. El relé

El relé es un dispositivo electromagnético que está formado por una bobina y un contacto o grupo de contactos asociados. Cuando a la bobina se le aplica tensión, el núcleo que está en su interior actúa como un electroimán y atrae a un sistema mecánico que mueve los contactos, cerrando los abiertos y abriendo los cerrados. Si cesa la excitación sobre la bobina, los contactos vuelven a su posición de reposo mediante un resorte. Así, se puede decir que un relé es un interruptor controlado eléctricamente.

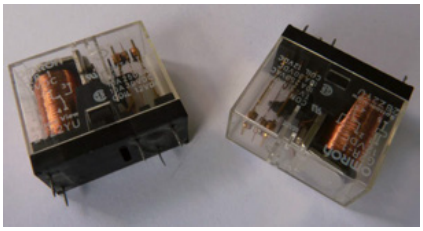


**Figura 3.51.** Relés.

Un relé consta de las siguientes partes:

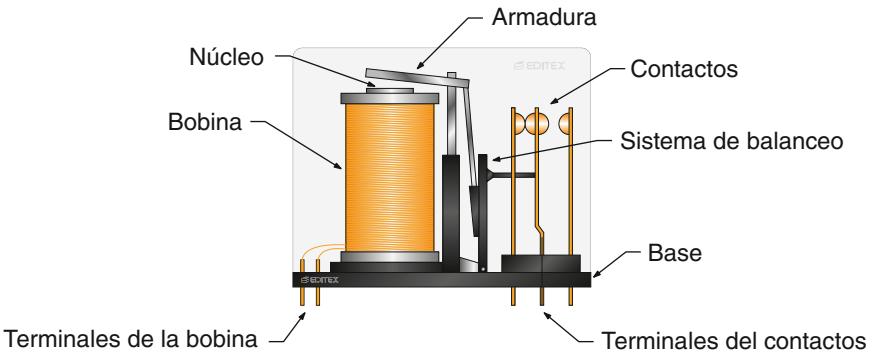



**Figura 3.52.** Diferentes configuraciones de los contactos de un relé.

Los símbolos asociados al relé son:

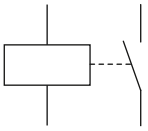
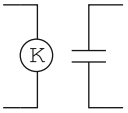
| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Relé (con bobina y un contacto NO –normalmente abierto) |  |  | K |

**Tabla 3.8.** El relé.

La siguiente figura muestra un ejemplo de configuración de un relé con doble contacto conmutado:

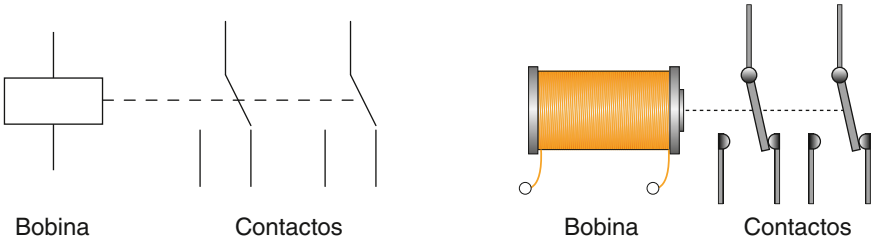



**Figura 3.53.** Ejemplo de un relé con doble contacto conmutado.

Las características eléctricas más importantes de un relé son las siguientes:

**Tensión de la bobina:** es la tensión en voltios que necesita para su correcta excitación. Una tensión inferior puede hacer que el relé no funcione adecuadamente, y una tensión superior podría dañarla.

**Poder de corte de los contactos:** se da en amperios y es la corriente máxima que los contactos son capaces de soportar.

Con un relé es posible controlar cargas de potencia, a tensión diferente de la utilizada para excitar la bobina.

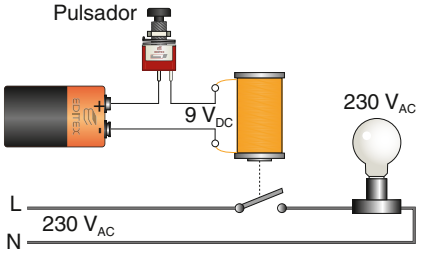



**Figura 3.54.** Ejemplo de aplicación de un relé para controlar con 9 $V_{DC}$ una carga de 230 $V_{AC}$.

# PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA

## Herramientas

- Tijeras de electricista
- Polímetro

## Material

- Pila de 9 V y su portapilas
- Placa de pruebas *protoboard*
- Tres resistencias de 1000 Ω (marrón-negro-rojo)
- Tres resistencias 470, 1000 y 1200 Ω
- Cables y puentes para placas de prototipos

# Medidas en circuito de resistencias en serie

## Objetivo

Medir resistencia, tensión y corriente con el polímetro en circuitos electrónicos de asociación de resistencias.

## Precauciones

- Se debe conocer cómo están unidos internamente los orificios de la placa de pruebas (*protoboard*) que se van a utilizar.
- Asegurarse de que las puntas de prueba del polímetro y el conmutador se encuentran en la posición adecuada para la medida que se va a realizar.

## Desarrollo

1. Observa el esquema del circuito que vas a realizar:

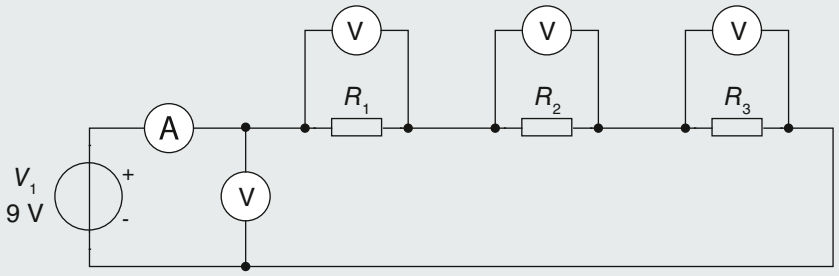



**Figura 3.55.** Media de la intensidad de corriente.

Representa, en tu cuaderno de trabajo, una tabla para anotar los resultados de medidas propuestas y los resultados de las comprobaciones.

| $V$ | $V_1$ | $V_2$ | $V_3$ | $I$ | $R_{total}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Medida | Calculada |
| 9 V | 3 V | 3 V | 3 V | 3 mA | 2,90 k | 3 k |

2. Inserta las tres resistencias de 1000 Ω en la placa de pruebas de forma que queden conectadas en serie entre ellas.

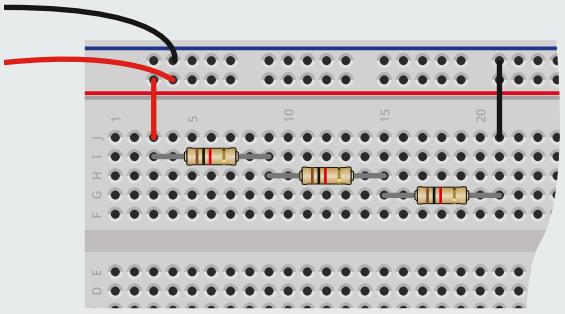


**Figura 3.56.** Resistencias en serie en placa de pruebas.

## Medida de resistencia

3. Con la pila desconectada, mide con el polímetro el valor de la resistencia total del conjunto y anótalo en tu cuaderno.
4. Comprueba matemáticamente que el valor de la resistencia total calculada es aproximadamente el mismo que la resistencia total medida: $R_t = R_1 + R_2 + R_3$

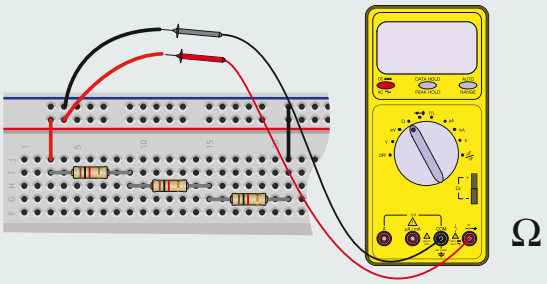



**Figura 3.57.** Medida de la resistencia total.

## Medida de tensión

5. Prepara el polímetro para medir tensión en DC.
6. Conecta la pila al circuito.
7. Mide y anota en tu cuaderno los valores de tensión que hay entre los bornes de cada una de las resistencias.
8. Mide también la tensión que hay en los bornes de la pila.
9. Comprueba que la suma de los valores parciales es el valor de la tensión que hay en la pila: $V = V_1 + V_2 + V_3$

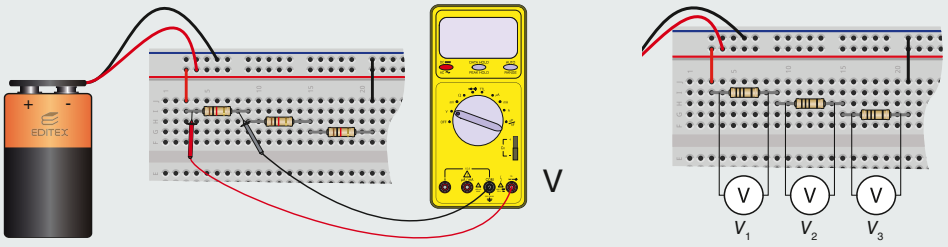



**Figura 3.58.** Ejemplo de medida de tensión en los terminales de las resistencias.

## Medida de corriente

10. Cambia las puntas de prueba a las tomas del polímetro para medir corriente.
11. Pon el conmutador en la posición adecuada para medir corriente.
12. Conecta el polímetro en serie con el circuito de resistencias. Para ello, suelta el puente que alimenta el circuito por la izquierda y conéctalo como se muestra en la figura.

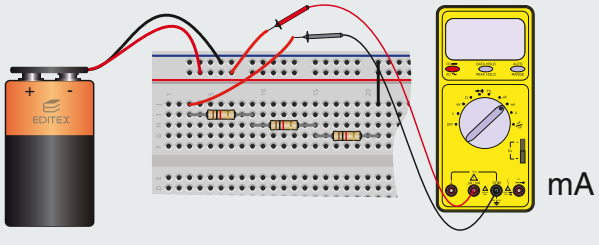



**Figura 3.59.** Media de la intensidad de corriente.

13. Sustituye las resistencias de 1000 Ω por las de 470, 1000 y 1200 Ω y repite todos los pasos, vistos anteriormente, y anota los resultados.

# TEST DE EVALUACIÓN

RESUELVE EN TU CUADERNO O BLOC DE NOTAS

1. **¿Cuál es el valor de una resistencia de cuatro bandas que tienen los siguientes colores: marrón, negro, verde, oro?**
   a) 100 Ω.
   b) 1000 Ω.
   c) 10 000 Ω.
   d) 1 000 000 Ω.

2. **¿Cuál es el valor de una resistencia de cinco bandas que tiene los siguientes colores: amarillo, amarillo, rojo, naranja, rojo?**
   a) 442 Ω ± 1 %.
   b) 442 kΩ ± 2 %.
   c) 442 Ω ± 2 %.
   d) 44k2 Ω ± 2 %.

3. **¿Qué valor tiene una resistencia que en su cuerpo tiene escrito: 2R2J?**
   a) 220 ± 2 %.
   b) 22 Ω ± 5 %.
   c) 2,2 Ω ± 5 %.
   d) 2 200 Ω ± 5 %.

4. **Di cuál de estos no es un valor normalizado de potencia para las resistencias:**
   a) 1/3 W.
   b) 2 W.
   c) 1/2 W.
   d) 1/8 W.

5. **La resistencias de película metálica (señala la respuesta incorrecta):**
   a) Tienen gran estabilidad térmica.
   b) Su componente resistivo se basa en un aglomerado de carbón.
   c) Disponen de código de colores.
   d) Su componente resistivo se basa en una aleación metálica.

6. **Un *trimmer* resistivo es:**
   a) Una resistencia dependiente de la temperatura.
   b) Una resistencia dependiente de la luz.
   c) Una resistencia bobinada.
   d) Una resistencia ajustable manualmente.

7. **Una LDR es:**
   a) Una resistencia dependiente de la temperatura.
   b) Una resistencia dependiente de la luz.
   c) Un tipo de condensador electrolítico.
   d) Un tipo de inductor.

8. **Si en un esquema electrónico aparece un componente que tiene 10 uF, se está haciendo referencia a:**
   a) Una resistencia bobinada.
   b) Una resistencia de película metálica.
   c) Un condensador.
   d) Un inductor.

9. **Si tres condensadores se asocian en serie, el valor total del conjunto es:**
   a) Menor que cualquiera de los valores de los condensadores asociados.
   b) La suma total de los valores de los condensadores asociados.
   c) Mayor que cualquiera de los valores de los condensadores asociados.
   d) El valor inverso de la suma de los condensadores asociados.

10. **Si un componente electrónico nos indica que tiene su valor en microhenrios, estamos hablando de:**
    a) Un potenciómetro.
    b) Una resistencia de película metálica.
    c) Un condensador.
    d) Un inductor.

# ACTIVIDADES FINALES

**1.** Coge diez resistencias de carbón (de cuatro y cinco bandas de color) y tres de tipo bobinado y elabora en tu cuaderno una tabla similar a la que se muestra a continuación. Identifica el valor de cada una de ellas, calcula el valor correspondiente a la tolerancia y comprueba el resultado con el polímetro.

| Colores o código | Valor según | | Tolerancia | | | Potencia W |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Código | Polímetro | +/– % | +/– valor | Rango | |
| | 1 MΩ | 1,12 MΩ | 5 % | 50 kΩ | 1050 000 -950 000 | ½ W |

**2.** Coge dos potenciómetros, uno lineal y otro logarítmico, del mismo valor óhmico. Con el polímetro, mide la resistencia que hay entre los terminales de cada uno de ellos, anota el valor óhmico que existe en las cinco posiciones propuestas y comprueba los resultados entre un potenciómetro y el otro. ¿Qué has observado?

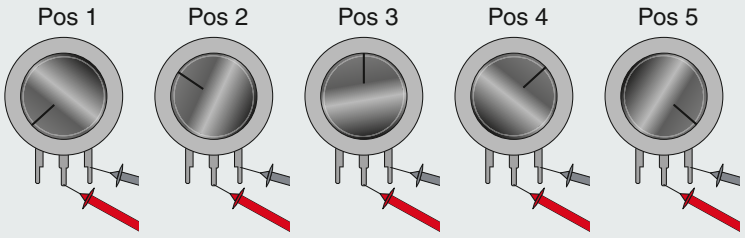



**Figura 3.60.** Posiciones de los potenciómetros para tomar medidas.

**3.** Calcula el valor de la resistencia total del siguiente circuito de resistencias en serie.

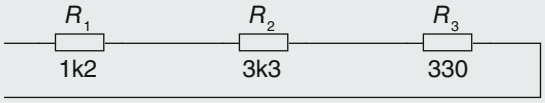



**Figura 3.61.** Circuito de resistencias en serie.

**4.** Calcula el valor de la resistencia equivalente del siguiente circuito de resistencias en paralelo.

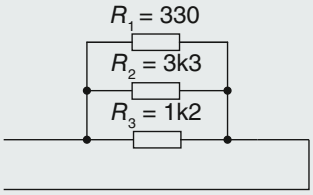



**Figura 3.62.** Circuito de resistencias en paralelo.

**5.** Calcula la resistencia equivalente de este circuito de asociación mixta de resistencias.

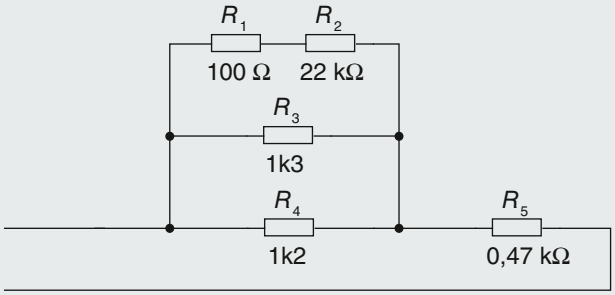



**Figura 3.63.** Circuito mixto de resistencias.

# ACTIVIDADES FINALES

**6.** Coge 10 condensadores de diferentes tipos y completa, en tu cuaderno de trabajo, una tabla similar a la que se muestra a continuación. Anota en ella el valor del condensador según su código de colores o código alfanumérico, el valor medido con el polímetro, la tolerancia y la tensión de trabajo.

| Colores o código | Valor según | | Tolerancia | | Tensión de trabajo |
|---|---|---|---|---|---|
| | Código | Polímetro | +/– % | +/– valor | |
| | 10 nF | 10 nF | 5 % | 0,5 nF | 250 V |
| | 10 nF | 9,8 nF | 2 % | 0,2 nF | 630 V |

**7.** Calcula la capacidad equivalente del siguiente circuito de condensadores en paralelo, sabiendo que $C_1 = 10$ nF, $C_2 = 2{,}2$ nF y $C_3 = 4{,}7$ nF. Monta el circuito en una placa de prototipos, mide con un polímetro la capacidad total y comprueba el resultado con tu compañero.

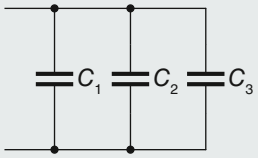



**Figura 3.64.** Circuito de condensadores en paralelo.

**8.** En el circuito de la actividad anterior, ¿cuál será el valor de la capacidad equivalente si los condensadores utilizados son $C_1 = \mu 1$, $C_2 = 220$ k y $C_3 = 330$ n? Monta el circuito en una placa de prototipos, mide con un polímetro la capacidad total y comprueba el resultado con tu compañero.

**9.** Utilizando los valores de los condensadores de las actividades anteriores, calcula la capacidad equivalente si se conectan en serie en ambos circuitos. Comprueba con el polímetro los resultados de los dos circuitos en serie y compara los resultados con tu compañero de mesa.

**10.** Di qué valores tienen las siguientes inductancias. Si en el aula-taller dispones de un medidor de inductancias, comprueba que los valores obtenidos son correctos.

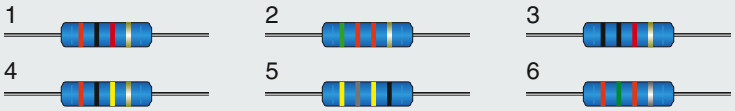



**Figura 3.65.** Inductancias moldeadas con código de colores.

**11.** Monta el siguiente circuito en una placa *protoboard*, de forma que con un relé de 5 $V_{DC}$ puedas controlar el encendido de una lámpara de 24 $V_{DC}$.

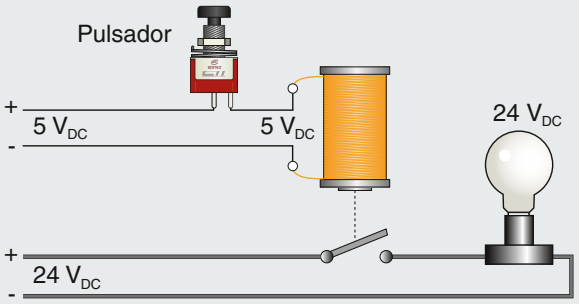



**Figura 3.66.** Circuito con relé.

# PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 1

## Herramientas

- Tijeras de electricista
- Polímetro

## Material

- Pila de 9 V y su portapilas
- Placa de pruebas *protoboard*
- Resistencias de ½ W de 1000, 1200, 470 y 220 Ω
- Cables y puentes para placas de prototipos

# Medidas en circuito mixto de resistencias

## Objetivo

Medir resistencia, tensión y corriente con el polímetro en un circuito de asociación mixta de resistencias.

## Precauciones

- Se debe conocer cómo están unidos internamente los orificios de la placa de pruebas (*portoboard*) que se van a utilizar.
- Asegúrate de que las puntas de prueba del polímetro y el conmutador se encuentran en la posición adecuada para la medida que vas a realizar.

## Desarrollo

1. Observa el esquema del circuito que vas a realizar:

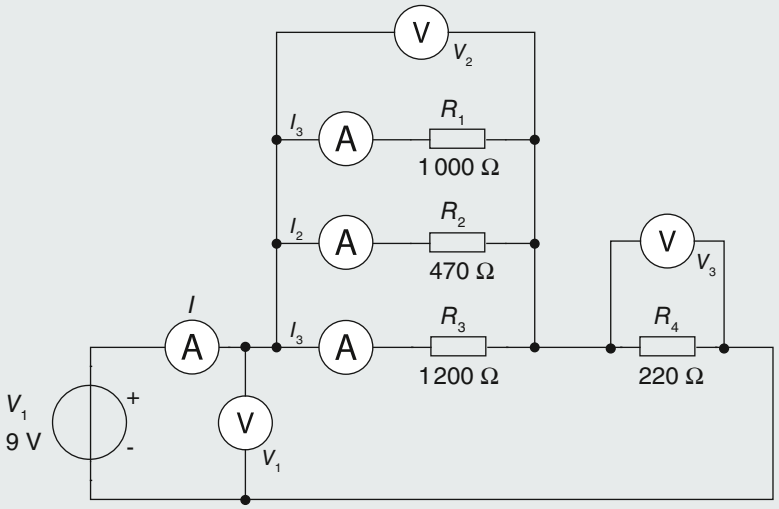



**Figura 3.67.**

2. Utilizando un procedimiento similar al visto en la Práctica profesional resuelta de esta unidad, monta el circuito del esquema en una placa *protoboard* y realiza las medidas propuestas en la tabla y anota los resultados en tu cuaderno de trabajo.

| Tensión | | | Corriente | | | | Resistencia | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_1$ | $V_2$ | $V_3$ | $I$ | $I_1$ | $I_2$ | $I_3$ | Resistencia total | Resistencia circuito paralelo |
| ▪▪▪ | ▪▪▪ | ▪▪▪ | ▪▪▪ | ▪▪▪ | ▪▪▪ | ▪▪▪ | ▪▪▪ | ▪▪▪ |

3. Comprueba con tu compañero de mesa que los resultados de ambos coinciden.

# PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 2

## Herramientas

- Tijeras de electricista
- Polímetro

## Material

- Fuente de tensión de 2 $V_{DC}$
- Placa de pruebas *protoboard*
- Resistencias de ½ W de 1000 Ω
- Potenciómetro lineal o resistencia ajustable de 5 kΩ
- Potenciómetro lineal o resistencia ajustable de 1 kΩ
- Cables y puentes para placas de prototipos

# Ajuste de tensión con potenciómetro

## Objetivo

Comprobar el comportamiento de un circuito divisor de tensión.

## Precauciones

- Asegurarse de que las puntas de prueba del polímetro y el conmutador se encuentran en la posición adecuada para la medida que se va a realizar.
- Comprobar cuál es el terminal del cursor del potenciómetro o resistencia ajustable.

## Desarrollo

1. Observa el esquema del circuito que vas a realizar:

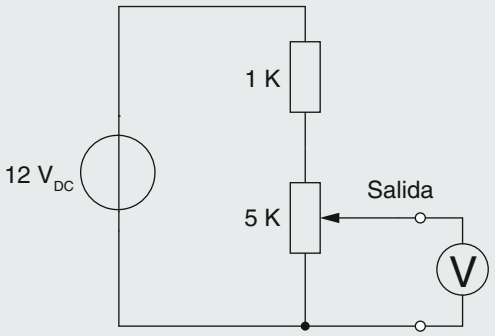



**Figura 3.68.** Esquema del circuito que vas a montar.

2. Monta el circuito en una placa *protoboard*. Para facilitar el conexionado en la placa de pruebas, el potenciómetro puede ser sustituido por una resistencia ajustable del mismo valor.

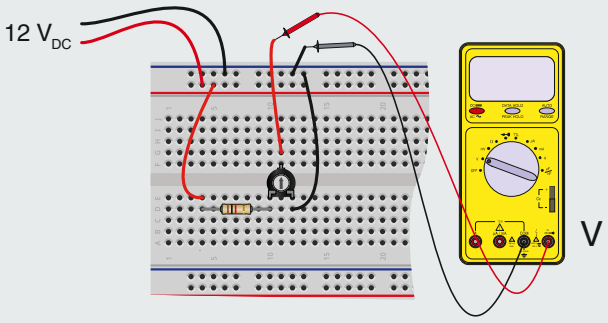
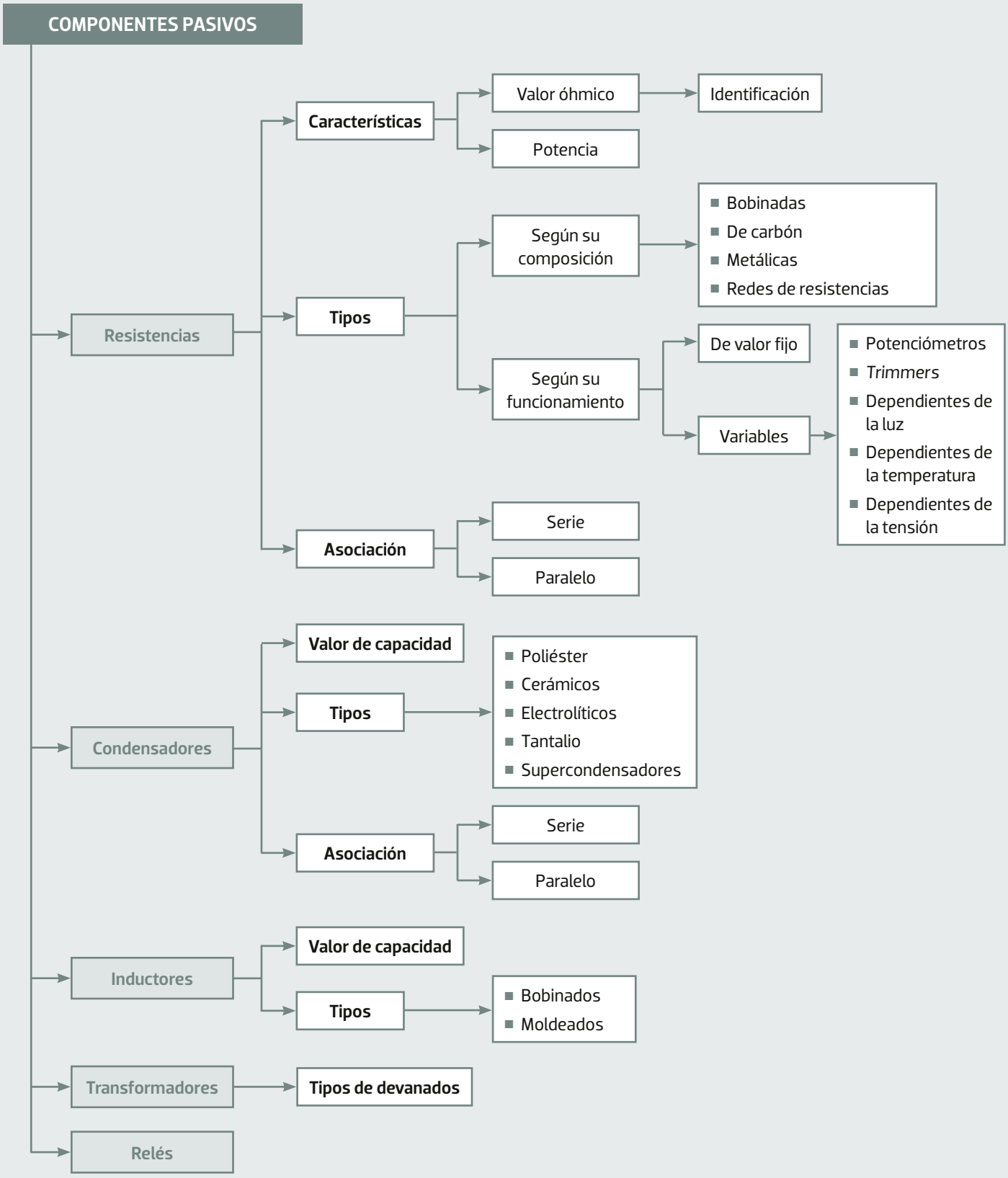



**Figura 3.69.** Montaje en la placa de pruebas.

3. Comprueba la tensión de salida cuando el mando del potenciómetro se mueve entre el máximo y el mínimo.
4. Sustituye el potenciómetro por otro de 1 kΩ. ¿Qué ocurre en este caso con el valor máximo de tensión en el punto de medida?

# EN RESUMEN


COMPONENTES PASIVOS
Resistencias
Características
Valor óhmico
Identificación
Potencia
Tipos
Según su composición
Bobinadas
De carbón
Metálicas
Redes de resistencias
Según su funcionamiento
De valor fijo
Variables
Potenciómetros
Trimmers
Dependientes de la luz
Dependientes de la temperatura
Dependientes de la tensión
Asociación
Serie
Paralelo
Condensadores
Valor de capacidad
Tipos
Poliéster
Cerámicos
Electrolíticos
Tantalio
Supercondensadores
Asociación
Serie
Paralelo
Inductores
Valor de capacidad
Tipos
Bobinados
Moldeados
Transformadores
Tipos de devanados
Relés

# 4 El diodo

## Vamos a conocer...

1. Semiconductores
2. El diodo
3. Tipos de diodos
4. Aplicaciones de los diodos

PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA

Rectificador de media onda

PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 1

Rectificador de onda completa

PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 2

Experimentación con un LED RGB

## Y al finalizar esta unidad...

- Conocerás qué son los materiales semiconductores y para qué se utilizan.
- Estudiarás qué es un diodo.
- Identificarás los diferentes tipos de diodos y cómo se representan en los esquemas.
- Calcularás las resistencias de polarización en circuitos con diodos Zener y diodos LED.
- Aprenderás cómo se utilizan los diodos como rectificadores de tensión.

# 1. Semiconductores

Desde el punto de vista electrónico, se puede decir que los materiales se clasifican en:

- **Aislantes:** que no permiten el paso de la corriente eléctrica a través de ellos, como pueden ser la madera, el plástico, el papel, etc.
- **Conductores:** que permiten el paso de la corriente eléctrica través de ellos fácilmente, como pueden ser el cobre, el aluminio, el oro, etc.
- **Semiconductores:** que se pueden comportar como aislantes o como conductores en función de determinadas condiciones físicas o eléctricas que se producen sobre ellos. Los más utilizados son el silicio y el germanio.

El uso de los semiconductores ha permitido desarrollar toda una tecnología de componentes electrónicos, denominados activos, que cambian su comportamiento en el circuito en función de cómo les afectan las condiciones eléctricas o físicas externas. Los componentes activos más conocidos, y que aquí se van a estudiar, son el diodo y transistor, junto con sus variantes.

## Saber más

El germanio fue ampliamente utilizado para la fabricación de componentes activos en los albores de la electrónica. Sin embargo, el silicio es el más utilizado en la actualidad debido a que es mucho más abundante en la naturaleza y más estable eléctricamente ante cambios de temperatura.

## 1.1. Unión PN

Para conseguir que un material como el silicio sea eléctricamente activo, es necesario añadirle impurezas (doparlo), de forma que pueda tener exceso o, en su caso, defecto de electrones (huecos). Los materiales dopados con exceso de electrones son los denominados de tipo N, y los que tienen defecto de ellos, son denominados tipo P. Por sí solos, ninguno de ellos tiene aplicaciones eléctricas, pero si se hace una unión entran ambos se consigue un comportamiento electrónico que es la base de los componentes activos.

# 2. El diodo

Es un semiconductor formado por la unión de material P y material N. A la zona P se la denomina **ánodo (a)** y a la zona N **cátodo (k)**. En el símbolo del diodo el ánodo se representa con una flecha que apunta a una línea vertical que, a su vez, representa el cátodo.

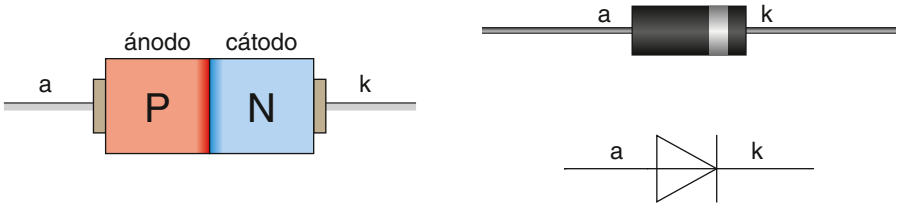



**Figura 4.1.** Unión PN de un diodo, aspecto físico y su relación con su símbolo.

Un diodo tiene la propiedad de facilitar el paso de corriente en un sentido y bloquearla en el otro.

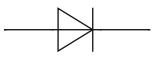
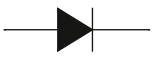
| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Diodo en general |  |  | D |

**Tabla 4.1.** Símbolos IEC y ANSI del diodo.

## Saber más

Los diodos con los que aquí vas a trabajar tienen forma cilíndrica con dos terminales conectados de forma axial. No obstante, dependido de su aplicación, existen otros formatos ampliamente utilizados.

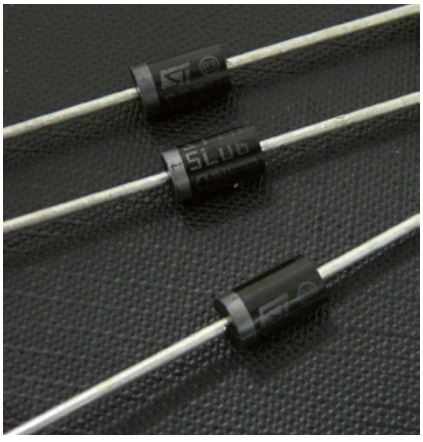


**Figura 4.2.** Diodos de silicio rectificadores.

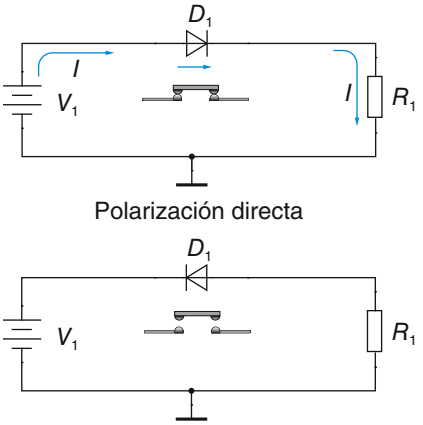



**Figura 4.3.** Polarización inversa.

Así, si un diodo se inserta en un circuito eléctrico, y la parte positiva se conecta al ánodo, el diodo deja pasar la corriente a través de él. Entonces, se dice que el diodo se ha polarizado de **forma directa.** Por el contrario, si el positivo de la fuente de tensión se aplica en el cátodo, el diodo se polariza de **forma inversa,** y no permite el paso de la corriente a través de él.

Se puede decir que un diodo se comporta como un interruptor abierto cuando está polarizado en inversa y como un interruptor cerrado cuando está polarizado en directa.

Esta propiedad de los diodos es especialmente útil para rectificar la corriente alterna y, así, convertirla en corriente continua, y para controlar el direccionamiento de las señales en los circuitos electrónicos.

## 2.1. Características de un diodo

Cuando un diodo está en polarización directa, comienza a conducir siempre que sea superada la denominada tensión de umbral entre sus terminales. Esta tensión suele ser de 0,7 V en los diodos de silicio y de 0,3 en los de germanio. Esto significa que cuando se alcanza dicho umbral, la corriente fluye por el diodo y en el circuito en el que se encuentra conectado.

Sin embargo, cuando el diodo está polarizado a la inversa, la unión PN se comporta de forma contraria a la polarización directa, no dejando pasar corriente a través de él. Si en esta situación la tensión en los terminales del diodo aumenta de forma considerable (tensión de ruptura), también lo hace la corriente, y el diodo se destruye de forma irremediable.

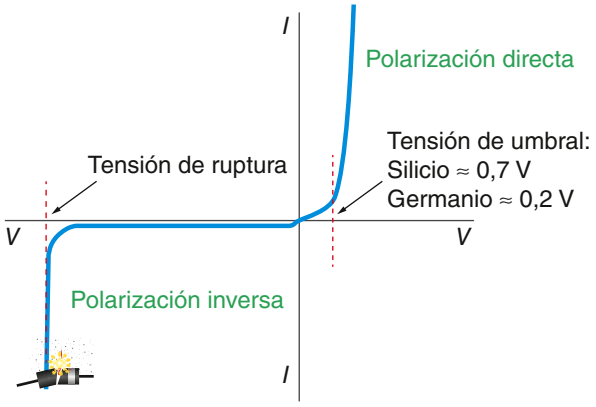



**Figura 4.4.** Curva característica del diodo.

## Saber más

### En tu profesión

Todos los diodos producen una caída de tensión en el circuito en el que se encuentran conectados y suele ser del mismo valor que la tensión de umbral. Es decir: 0,7 V en los de silicio y 0,3 V en los de germanio.

## Actividades

1. Utilizando una pila de 4,5 V, una lamparita esférica de 5 V y un diodo 1N4007, realiza el circuito de la figura y comprueba lo que ocurre con la lámpara cuando el diodo está en polarización directa, y qué ocurre cuando está en polarización inversa.

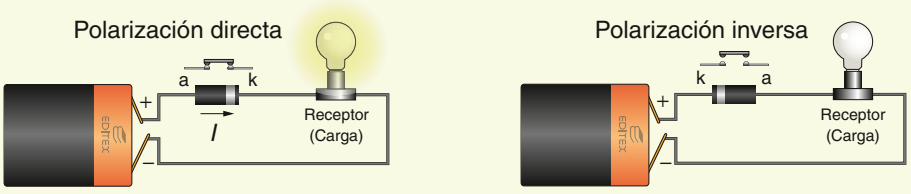



**Figura 4.5.** Polarización directa e inversa.

En el circuito de polarización directa, mide la tensión que hay en los terminales de la pila y la tensión en los terminales de la lámpara. ¿Cuál es la diferencia entre ambos valores? ¿Por qué ocurre eso?

Los fabricantes suelen dar los valores de umbral y de ruptura de sus diodos, tanto en tensión como en corriente. Además, es importante conocer cuáles son las tensiones y corrientes nominales y máximas con las que el diodo puede trabajar, para elegirlo de forma adecuada en función de la aplicación, y así evitar que se destruya.

## 2.2. Encapsulado de los diodos

La forma en la que se comercializan los diferentes componentes electrónicos se encuentra estandarizada. La fabricación de componentes se hace en función de diferentes tipos de encapsulado, que permiten su adaptación a todo tipo de aplicaciones.

Algunos de los encapsulados más comunes de los diodos son los que se muestran a continuación. Estos se emplean en función de las necesidades y, sobre todo, de la potencia que tienen que gestionar en el circuito.

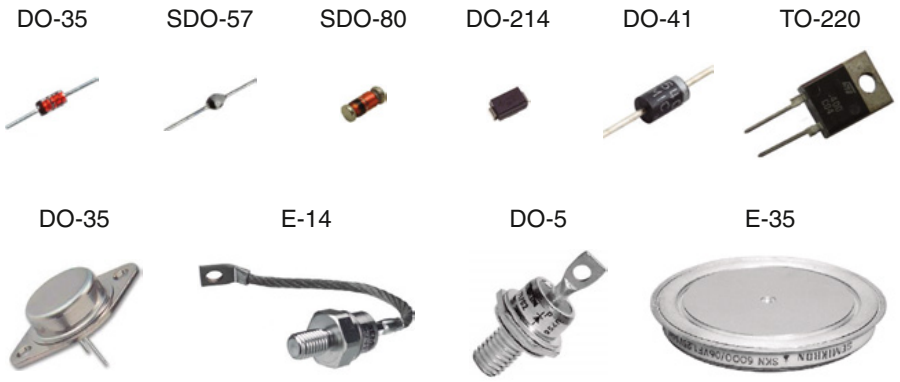



**Figura 4.8.** Diferentes tipos de encapsulados de los diodos.

### Recuerda

Un diodo se puede comprobar fácilmente con un polímetro en modo continuidad.

**Figura 4.6.** El diodo conduce.

**Figura 4.7.** El diodo no conduce.

# 3. Tipos de diodos

Dependiendo de la aplicación en la que se vayan a utilizar, existen diferentes tipos de diodos. Algunos de los más representativos son los que se nombran a continuación:

## 3.1. Diodos rectificadores

Se utilizan para convertir la corriente alterna en continua, y su campo de aplicación es principalmente el de los circuitos y las fuentes de alimentación. Suelen ser diodos que trabajan con corrientes elevadas, y los hay incluso para controlar cargas de gran potencia.

En próximas unidades se estudiará en detalle cómo utilizarlos para rectificar la corriente en aplicaciones para fuentes de alimentación.

## 3.2. Diodos de señal

Son diodos que están diseñados para trabajar con pequeñas corrientes (del orden de 100 o 200 mA) y se utilizan para acondicionar las señales en circuitos que requieren trabajar a alta velocidad.

Estos diodos tienen un tamaño más reducido que los de tipo rectificador y se suelen presentar con un encapsulado transparente, similar al vidrio. No obstante, su funcionamiento es idéntico a los anteriores.

### Saber más

**En tu profesión**

Uno de los diodos de señal más utilizado es el modelo 1N4148, el cual tiene un cuerpo de vidrio, con el cátodo marcado con una banda de color negro.

**Figura 4.9.** Diodo de señal 1N4148.

## Saber más

Estos son algunos valores comerciales de los Zener:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2,7 V | 3,3 V | 3,6 V | 3,9 V |
| 4,3 V | 4,7 V | 5,1 V | 5,6 V |
| 6,2 V | 6,8 V | 7,5 V | 8,2 V |
| 9,1 V | 10 V | 11 V | 12 V |
| 13 V | 15 V | 16 V | 18 V |
| 20 V | 22 V | 24 V | 27 V |
| 30 V | 33 V | 36 V | 39 V |
| 47 V | 51 V | 56 V | 10 V |

**Tabla 4.3.** Ejemplos de diodos Zener.

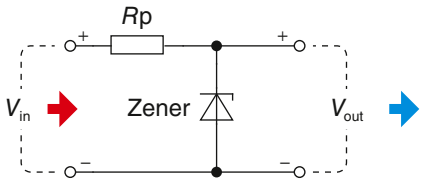



**Figura 4.10.** Circuito de polarización de un Zener.

## 3.3. Diodo Zener

Es un diodo especial, que debe su nombre al físico que lo inventó. Este diodo trabaja en polarización inversa dentro de la zona de ruptura, pero, en lugar de destruirse, se produce en él un efecto denominado de «avalancha», que permite estabilizar la salida en tensión en sus terminales. Este efecto sirve para que los diodos Zener se utilicen en circuitos reguladores de tensión.

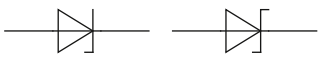
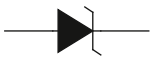
| Denominación | Símbolo IEC (dos formas) | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Diodo Zener |  |  | D |

**Tabla 4.2.** Diodos Zener.

Las principales características de un Zener son su tensión nominal en voltios y su potencia de disipación en vatios. Ambas están normalizadas y se comercializan en valores estándar. En el caso de la tensión, se muestra un ejemplo en la tabla 4.3 que aparece en el margen. En el caso de la potencia, los valores comerciales son de 0,5 W, 1 W, 5 W, 10 W y 20 W.

Un diodo Zener debe ser polarizado mediante una resistencia, como se muestra en el esquema de la figura. Cuando la alimentación del conjunto es menor que la tensión nominal del Zener, este no conduce, y en la salida hay la misma tensión que la de la alimentación. Sin embargo, cuando el circuito es alimentado con una tensión superior a la nominal de la del Zener, este entra en conducción, y en la salida del circuito solamente se obtiene el valor de la tensión del Zener, siendo la resistencia la que absorbe el valor restante.

Así el proceso de cálculo de un Zener para un valor de carga determinado se muestra a continuación.

## Ejemplo

**Se desea calcular el circuito regulador de tensión basado en Zener, para alimentar una carga que funciona a 5 V y cuyo consumo es de 50 mA, sabiendo que la tensión de alimentación de entrada es de 15 V.**

1. La tensión deseada en la salida es de 5 V, por tanto, es necesario utilizar un Zener comercial de 5,1 V.
2. Sabiendo que, en el caso más desfavorable, la corriente máxima que puede pasar por el Zener es la de la carga, se puede calcular la potencia del Zener con la siguiente expresión:

$$P_z = V_z \cdot I_z = 5{,}1\ \text{V} \cdot 0{,}05\ \text{A} = 0{,}255\ \text{W}$$

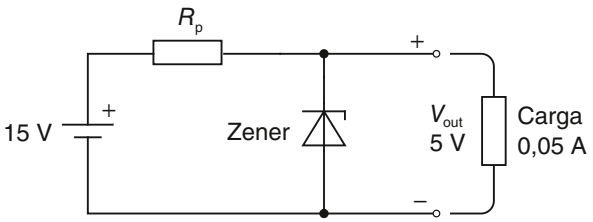



**Figura 4.11.** Circuito regulador de tensión con Zener.

3. La potencia resultante no es un valor comercial, por lo que se debe elegir el valor superior más próximo, que es 0,5 W. Además, siempre es aconsejable utilizar un Zener de potencia superior al resultado obtenido.
4. El valor óhmico de la resistencia $R_p$ se calcula aplicando la ley de Ohm:

$$R_p = \frac{V_{in} - V_z}{I} = \frac{15\ \text{V} - 5{,}1\ \text{V}}{0{,}05\ \text{A}} = 200\ \Omega$$

El valor óhmico comercial más próximo al resultado obtenido es de 200 Ω con una tolerancia de ±5 %.

5. Y, por último, la potencia de la resistencia se obtiene aplicando la siguiente expresión:

$P_{Rp} = (V_{in} - V_z) \cdot I_z = (15\ \text{V} - 5{,}1\ \text{V}) \cdot 0{,}05\ \text{A} = 0{,}5\ \text{W}$, por tanto, será una resistencia de 200 Ω 1/2 W.

## 3.4. Diodos LED

El diodo LED es un componente semiconductor que tiene la propiedad de emitir luz cuando es atravesado por una corriente en polarización directa.

De igual forma que otros tipos de diodos, los LEDs tienen dos patillas de conexión (un ánodo y un cátodo). Cuando el diodo es nuevo, el terminal largo es el ánodo (+) y el corto el cátodo (–). También es posible diferenciarlos observando el LED al trasluz. El cátodo es una pieza de mayor tamaño que el ánodo. Además, en los LEDs con el cuerpo redondeado, el lado del cátodo es plano.

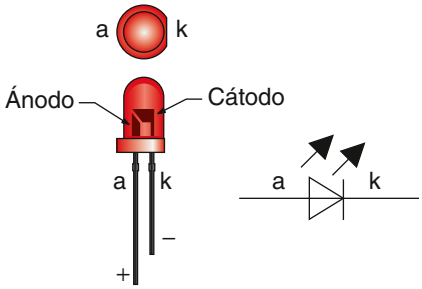



**Figura 4.12.** Diodo LED y asociación de las patillas con su símbolo.

| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Diodo LED | | | D |

**Tabla 4.4.** Diodo LED.

Los diodos LED se fabrican en diferentes colores, tamaños y formas.

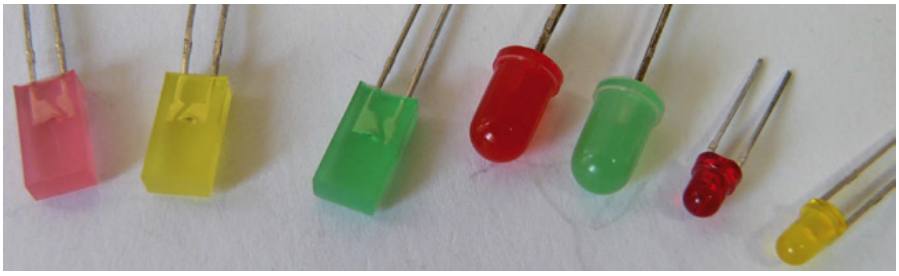


**Figura 4.13.** Diferentes tipos de diodos LED.

Las características eléctricas que hay que tener en cuenta al trabajar con diodos LED son su tensión de umbral y la corriente paso máxima.

- La **tensión de umbral** es el número de voltios máximo que el LED es capaz de soportar en sus terminales, sin ponerlo en peligro. Dicha tensión depende del color del LED.
- De igual forma, **la corriente** de paso en el LED no debe superar a la recomendada por el fabricante, ya que podría destruirse. Para los LEDs de alta luminosidad, es aconsejable una corriente máxima de 20 mA. Para los demás, una corriente de 10 mA.

| Color | V | *I* |
|---|---|---|
| Rojo | 1,7 V | 10 mA |
| Naranja | 2,1 V | 10 mA |
| Amarillo | 2,1 V | 10 mA |
| Verde | 2,2 V | 10 mA |
| Azul | 4,5 V | 20 mA |
| Blanco | 3,6 V | 20 mA |

**Tabla 4.5.** Voltaje e intensidad de los LEDs por color.

En general, para los LEDs estándar, se puede tomar como tensión umbral 2 V y como corriente 10 mA.

### Saber más

LED es acrónimo del inglés: *light-emitting diode*.

En equipos eléctricos y electrónicos, se han utilizado tradicionalmente como elemento de señalización. No obstante, en la actualidad se están usando de forma masiva para iluminación y creación de pantallas de dispositivos de televisión e informáticos.

En el mercado también existen LEDs intermitentes de cualquier color, que no requieren ningún circuito adicional para su funcionamiento.

## Recuerda

Si el diodo LED se polariza a la inversa, no se enciende, pero tampoco se estropea. Esta propiedad puede ser utilizada para encender un LED en función de la polaridad de la fuente de alimentación.

### 3.4.1. Resistencia de polarización del LED

Es una resistencia que se conecta en serie con el LED para limitar la tensión de alimentación del circuito a la tensión de umbral.

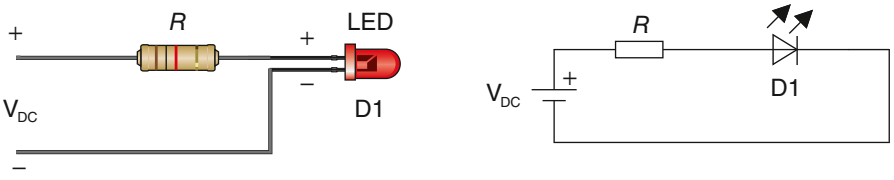



**Figura 4.14.** Resistencia de polarización de un LED.

El cálculo de dicha resistencia se hace con la siguiente fórmula basada en la ley de Ohm:

$$R = \frac{V - V_{LED}}{I_{LED}}$$

Donde $R$ es el valor óhmico de la resistencia de polarización, $V$ la tensión de la fuente de alimentación del circuito, $V_{LED}$ la tensión de umbral del LED e $I_{LED}$ la corriente de paso del LED.

### 3.4.2. Asociación de led en serie y en paralelo

Los LEDs se pueden conectar en serie y en paralelo y utilizar una única resistencia de polarización.

**En serie:** se conecta el cátodo del primero con el ánodo del siguiente, y así sucesivamente.

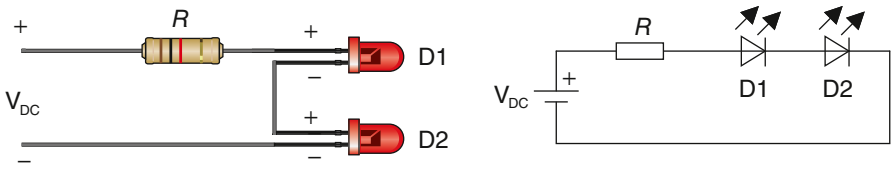



**Figura 4.15.** Diodos LED en serie.

Al estar en serie los LEDs, la corriente de paso por ambos es la misma, es decir 10 mA (con LEDs rojos), y por el mismo motivo, es necesario sumar la tensión de polarización de ambos LEDs, que en el ejemplo es 1,7 V + 1,7 V.

$$R = \frac{V - V_{LED}}{I_{LED}} = \frac{12\ V - (1{,}7\ V + 1{,}7\ V)}{0{,}01\ A} = 860\ \Omega$$

## Ejemplo

**Calcula la resistencia de polarización de un diodo LED de color rojo, en un circuito alimentado por una fuente de tensión de corriente continua de 12 V.**

Teniendo en cuenta la tensión de umbral para el LED de color rojo es de 1,7 V y la corriente de 10 mA (0,01 A), el cálculo de la resistencia de polarización es:

$$R = \frac{V - V_{LED}}{I_{LED}} = \frac{12\ V - 1{,}7\ V}{0{,}01\ A} = 1030\ \Omega$$

Ya que el resultado no es un valor comercial de resistencia, es necesario elegir el más próximo superior, que en este caso es una resistencia de 1,1 kΩ.

**En paralelo:** se conectan los ánodos de todos los LEDs al positivo de la alimentación, a través de la resistencia de polarización, y todos los cátodos al negativo.

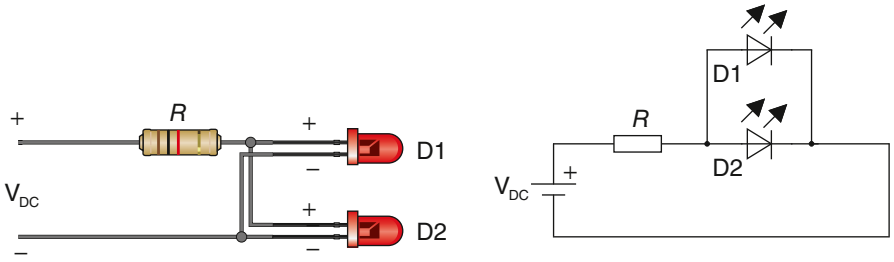



**Figura 4.16.** Diodos LED en paralelo.

Al estar en paralelo los LEDs, la tensión en los terminales de todos ellos es la misma, es decir, 1,7 V, si los LEDs son rojos. Sin embargo, la corriente total es la suma de las corrientes parciales de cada uno de los LEDs, es decir, 10 mA + 10 mA en el caso el ejemplo.

$$R = \frac{V - V_{LED}}{I_{LED}} = \frac{12\ V - (1{,}7\ V + 1{,}7\ V)}{0{,}01\ A} = 860\ \Omega$$

## 3.5. LED de varios colores

Son diodos LED que pueden cambiar de color y los hay de diferentes tipos:

**LED bicolor de dos terminales:** es un LED que se comporta como si en su interior tuviera dos LEDs conectados en antiparalelo. Así, cuando el LED es alimentado, se enciende el color que está correctamente polarizado.

**LED bicolor de tres terminales:** es un LED que se comporta como si en su interior existieran dos LEDs con él ánodo o el cátodo común. Así, el LED se encenderá con el color correspondiente, cuando la patilla se polariza de forma correcta. La resistencia de polarización se conecta la patilla común.

**LED RGB:** es un LED que puede generar tres colores fijos (rojo, verde y azul), pero que, además, en función de la intensidad con la que se encienda cada uno de ellos, es posible mezclarlos entre sí, y generan una interesante gama cromática. Disponen de cuatro patillas, una para la alimentación del ánodo o cátodo común, y las otras tres, una para cada color. La polarización se hace de forma similar a otros LEDs.

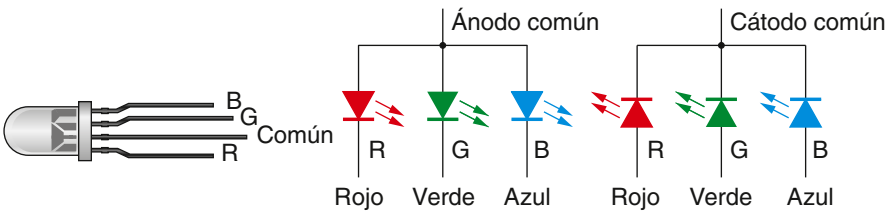



**Figura 4.19.** LED cromático RGB.

## 3.6. Visualizadores de segmentos LED

Generalmente conocidos como *display*, son componentes que están constituidos por siete diodos LED con forma de segmento, encapsulados en un mismo bloque y dispuestos de tal forma que con ellos es posible formar caracteres alfanuméricos en función de los LEDs que se encuentren encendidos.

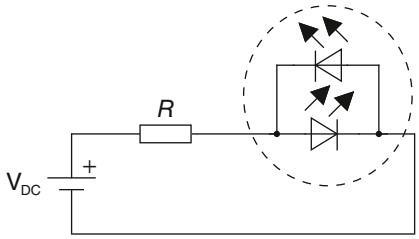



**Figura 4.17.** LED bicolor en de dos patillas.

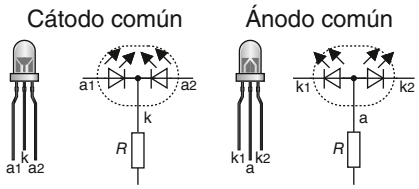



**Figura 4.18.** LED bicolor de cátodo y ánodo común.

### Saber más

RGB son las iniciales de los colores en inglés rojo, verde y azul (*red, green, blue*).

**Figura 4.20.** *Display* de siete segmentos y punto decimal.

Algunos modelos disponen de un LED adicional, llamado DP, que se utiliza para mostrar el punto decimal.

En función de cómo la red de LED interna se encuentre conectada, los *displays* pueden ser de ánodo o cátodo común.

La distribución de las patillas en ambos casos es la siguiente:

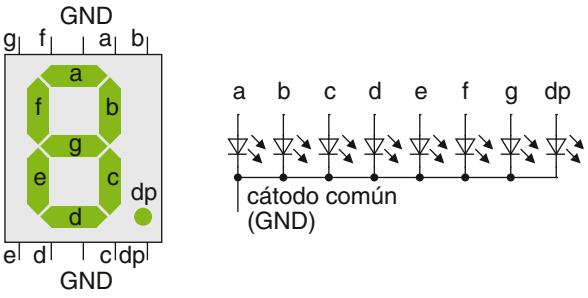



**Figura 4.21.** *Display* con cátodo común.

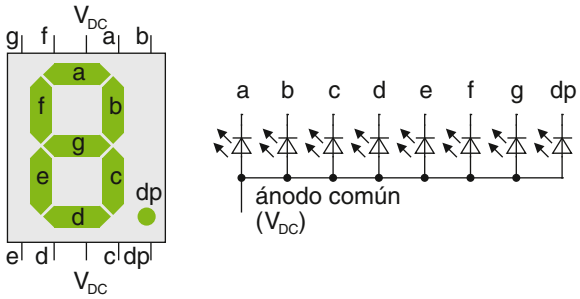



**Figura 4.22.** *Display* con ánodo común.

## 3.7. Fotodiodos

Son diodos que permiten el paso de la corriente a través de ellos, en función de la luz que reciben. Se conectan en inversa y la corriente que conduce se denomina de fuga, ya que pasa del cátodo al ánodo.

Trabajan con luz visible o infrarroja y, en aplicaciones domésticas, están presentes en la mayoría de los mandos a distancia de los equipos como la televisión, el DVD, el equipo *hi-fi,* etc.

**Figura 4.23.** Diferentes tipos de fotodiodos.

El símbolo del fotodiodo es el siguiente:

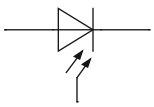
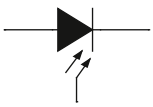
| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Fotodiodo |  |  | D |

**Tabla 4.6.** Fotodiodo.

### Saber más

Un fotodiodo en polarización directa se comporta como un diodo normal y no se consigue el efecto «detector de luz» deseado. Para que un fotodiodo funcione correctamente debe ser siempre conectado en polarización inversa.

## Actividades

**2.** Calcula la resistencia de polarización para encender dos LEDs de color verde en serie en un circuito alimentado a 9 V. Monta el circuito en una placa *protoboard* y comprueba su funcionamiento. Haz lo mismo para los dos LEDs en paralelo.

**Figura 4.24.** Montajes y esquemas: conexión serie y conexión paralelo.

En el montaje en paralelo, cambia la polaridad de uno de los LEDs respecto al otro. ¿Qué ocurre al aplicar la tensión al circuito? ¿Cuándo se enciende cada uno de los LEDs? ¿Es posible encender los dos LEDs a la vez?

## 3.8. Otros tipos de diodos

A continuación, se describen brevemente otros tipos de diodos, cuya aplicación es más específica y, por tanto, de uso menor que los estudiados anteriormente.

### 3.8.1. Diodo Schottky

También denominado «diodo de portadores», debe su nombre al científico que lo descubrió. Este tipo de diodo se caracteriza por su rápida conmutación, lo que le hace especialmente útil en aplicaciones que requieren muy alta frecuencia.

Están fabricados de silicio, pero su tensión de umbral suele ser estar entre 0,2 y 0,4 V, en lugar de los 0,7 V de otros tipos de diodos.

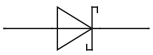
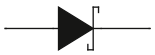
| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Diodo Schottky |  |  | D |

**Tabla 4.7.** Diodo Schottky.

### Diodo Varactor o Varicap

Este diodo se comporta como un condensador variable controlado por tensión, por este motivo también se le denomina «diodo de capacidad variable».

Funciona en polarización inversa, y se utiliza en circuitos de sintonización (radio, TV, etc.) y en circuitos de oscilación que requieren variar su valor capacitivo.

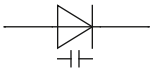
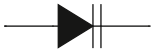
| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Diodo Varactor |  |  | D |

**Tabla 4.8.** Diodo Varactor.

### Diodo túnel

Recibe su nombre debido al efecto «túnel» producido en el movimiento de cargas en la zona de unión de los materiales PN del diodo.

En este tipo de diodo, al aumentar, la tensión, se observa que la corriente disminuye en lugar de aumentar, como ocurre en los demás tipos de diodos.

Tiene aplicación en dispositivos de amplificación, osciladores, trabajo con microondas, etc.

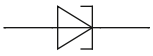
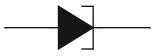
| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Diodo túnel |  |  | D |

**Tabla 4.9.** Diodo túnel.

En ocasiones, a este tipo de diodos se los denomina Esaki, en honor al científico japonés que los descubrió en el año 1958.

## Vocabulary

- Diodo: *diode*.
- Resistencia: *resistor*.
- Umbral: *threshold*.
- Tensión de ruptura: *breakdown voltaje*.
- Verde: *green*.
- Rojo: *red*.
- Azul: *blue*.
- Visualizador: *display*.
- Hojas de datos: *data sheets*.
- Ganancia en corriente: *current gain*.
- Disipador de calor: *heatsink*.
- Relé: *relay*.
- Aislante: *insulator*.
- Sobrecarga: *overload*.
- Carga: *load*.
- Unión: *juntion*.
- Diodos rectificadores: *rectifier diodes*.
- Diodos de señal: *signal diodes*.
- Corriente directa: *forward current*.
- Corriente inversa: *reverse current*.
- Tensión de pico: *peak voltaje*.
- Forma de onda: *waverform*.
- Rizo: *ripple*.
- Polarización: *bias*.
- Silicio: *silicon*.

## Actividades

**3.** Busca en internet si existen otros tipos de diodos, además de los que aquí se han estudiado. Anota en tu cuaderno cómo se denominan y dibuja su símbolo.

# 4. Aplicaciones de los diodos

A continuación, algunas de las aplicaciones típicas de los diodos en los circuitos electrónicos.

## 4.1. Diodos de protección

Se utilizan en circuitos que requieran controlar bobinas o solenoides, como pueden ser las de los relés electromecánicos.

Se conectan en paralelo a las bobinas y en inversa con respecto a la fuente de tensión. Este tipo de diodo, también llamado «diodo volante», se utiliza para proteger el circuito electrónico que alimenta la bobina.

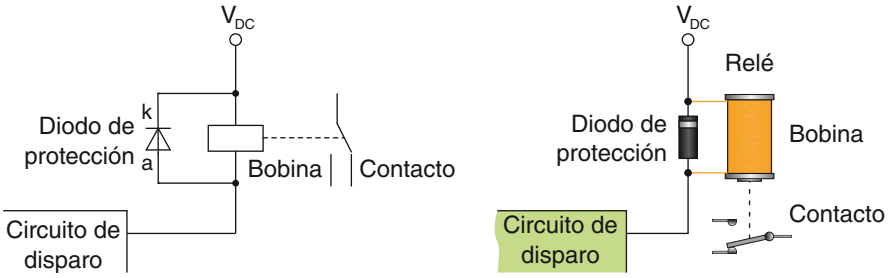



**Figura 4.25.** Conexión de un diodo volante o de protección en un circuito con relé.

Cuando una bobina es atravesada por una corriente eléctrica almacena energía. Así, cuando se abre el circuito que la alimenta de forma brusca, se produce una sobretensión que puede destruir la etapa electrónica que lo alimenta. El diodo en paralelo permite derivar la sobretensión a través de él y, por tanto, proteger el circuito electrónico de control.

## 4.2. Rectificación de corriente

Uno de los mayores campos de aplicación de los diodos son los denominados rectificadores de corriente. Estos circuitos permiten convertir o rectificar la corriente alterna en corriente continua, y, por tanto, son muy utilizados para la construcción de fuentes de alimentación, como se verá en las siguientes unidades de este libro.

### 4.2.1. Rectificador de media onda

En este caso, se utiliza un solo diodo para recortar uno de los semiciclos de la corriente alterna. Para ello, el diodo se conecta en serie con la carga y la fuente de AC. Como el diodo es un elemento unidireccional, solamente deja pasar uno de los semiciclos de la fuente de tensión $V_{AC}$, obteniéndose un tipo de corriente con una sola polaridad positiva (o negativa). Este tipo de corriente, también denominada pulsatoria, se considera que es de corriente continua, ya que dispone de polaridad.

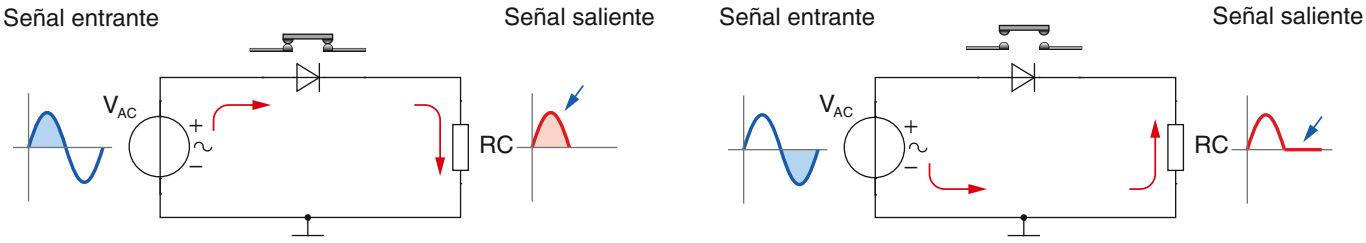



**Figura 4.26.** Rectificador de media onda (funcionamiento en cada uno de los semiciclos).

Hay que tener en cuenta que un diodo produce una pequeña caída de tensión (0,7 V en los de silicio y 0,2 V en los de germanio), por tanto, el valor de la tensión de pico de salida ($V_{máx}$), es igual al valor de tensión pico de la entrada, menos la caída de tensión del diodo.

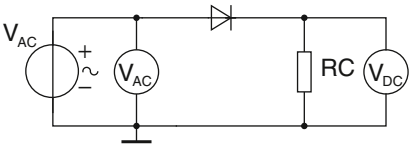



**Figura 4.28.** Medida de tensiones en entrada y salida de un rectificador de media onda.

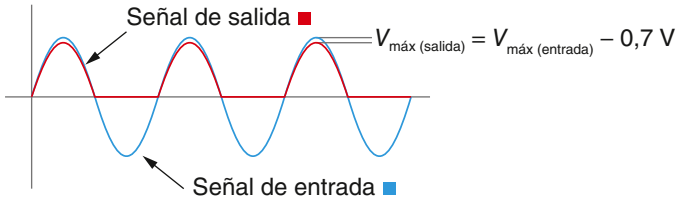
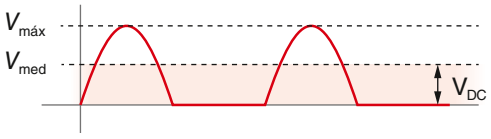



**Figura 4.27.** Señale de salida de un rectificador monofásico de media onda.

Como la señal de salida tiene polaridad, es necesario utilizar un voltímetro de corriente continua, ya que dicha medida corresponde valor medio ($V_{med}$) de la señal sinusoidal de entrada. En el caso del rectificador de media onda, la relación entre ambas es que el valor medio ($V_{med}$) es igual al valor de pico o máximo divido entre $\Pi$ (3,1416). Como el valor de la fuente suele darse en valor eficaz, y como la relación entre el valor eficaz y máximo es $V_{máx} = V_{efc} \cdot \sqrt{2}$, se puede calcular de forma aproximada, ya que depende de la carga, el valor medio como el resultado de multiplicar el valor eficaz por 0,45.




$$V_{med} \simeq \frac{V_{máx}}{\pi} \simeq \frac{V_{efc} \cdot \sqrt{2}}{\pi} \simeq V_{efc} \cdot 0{,}45$$

**Figura 4.29.** Valor medio de una señal rectificada de media onda.

## Caso práctico resuelto

**Con un *software* de simulación electrónica, dibuja el circuito rectificador de media onda de la figura y responde:**

1. **Con un voltímetro AC y otro DC mide respectivamente las tensiones de entrada y salida del rectificador. Comprueba que la tensión $V_{DC}$ de salida se corresponde al cálculo matemático de valor medio visto anteriormente.**
2. **Utiliza un osciloscopio de dos canales y compara las señales de entrada y salida del rectificador. ¿Cuál es la amplitud de la señal de salida con respecto a la de entrada?**

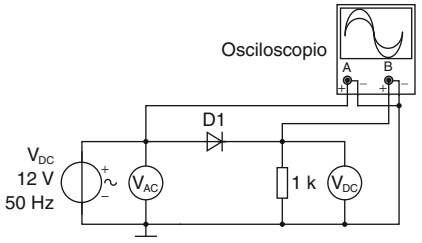



**Figura 4.30.** Circuito a simular.

La simulación aquí mostrada se ha realizado con el *software* Multisim de NationalInstrument.

1. Utilizando como carga una resistencia de 1 k, se observa que el voltímetro de corriente continua muestra un valor de 5,08, el cual es muy aproximado al valor calculado mediante $V_{med} \cong V_{efc}$ $0{,}45 = 12\ V \cdot 0{,}45 = 5{,}4\ V$. No obstante, un cálculo más preciso se puede obtener teniendo en cuenta la caída de tensión del diodo, que en este caso es de 0,7 V:

$$V_{med} \simeq \frac{V_{máx} - 0{,}7\ V}{\pi} \simeq \frac{(V_{efc} \cdot \sqrt{2}) - 0{,}7\ V}{\pi} \simeq 5{,}1\ V$$

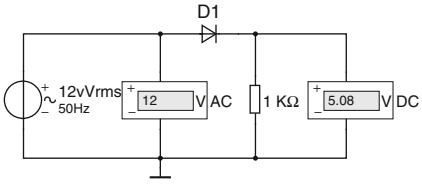



**Figura 4.31.** Tensiones en el circuito.

2. En el osciloscopio se obtienen las formas de onda de ambas señales, como se muestra en la figura. En ellas se puede observar que el valor de pico de la señal de salida es ligeramente más pequeña que la de entrada, debido a la caída de tensión producida por el diodo. Los ajustes del osciloscopio deben ser: atenuador en ambos canales: 10 V/Div y base de tiempos 5 mS/Div.

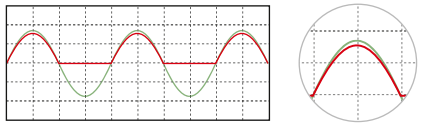


**Figura 4.32.** Formas de onda en el osciloscopio.

## Saber más

El rectificador de onda completa con dos diodos tiene el inconveniente de requerir una fuente de tensión alterna doble con una conexión común entre ambas. Esto se puede conseguir fácilmente con un transformador con un devanado secundario con un terminal intermedio.

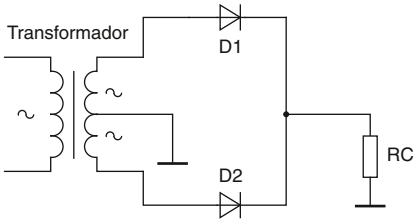



**Figura 4.33.** Rectificador de onda completa con transformador.

### 4.2.2. Rectificadores de onda completa

Tienen mayor rendimiento que los de media onda y, por ese motivo, son los que más se utilizan para la construcción de fuentes de alimentación. Según su configuración, pueden ser de dos tipos:

#### Rectificador monofásico de onda completa con dos diodos

Se utilizan dos diodos para así rectificar tanto los semiciclos negativos como los positivos de la señal de entrada. En este caso, se requiere una fuente de tensión formada por dos generadores idénticos unidos en serie y con una toma intermedia que está conectada a uno de los terminales de la carga.

Cuando se produce el semiciclo positivo de la tensión alterna de entrada, el diodo D1 está polarizado en directa y el D2 en inversa, por lo que en la señal de salida se obtiene un semiciclo de tipo positivo. De igual forma, cuando se produce el semiciclo negativo en la fuente de alterna de entrada, el diodo D1 está polarizado en inversa, no conduciendo, y el D2 en directa. Esto hace que el dicho semiciclo tenga la misma polaridad en la carga que el anterior y, por tanto, no se pierda en la señal de salida.

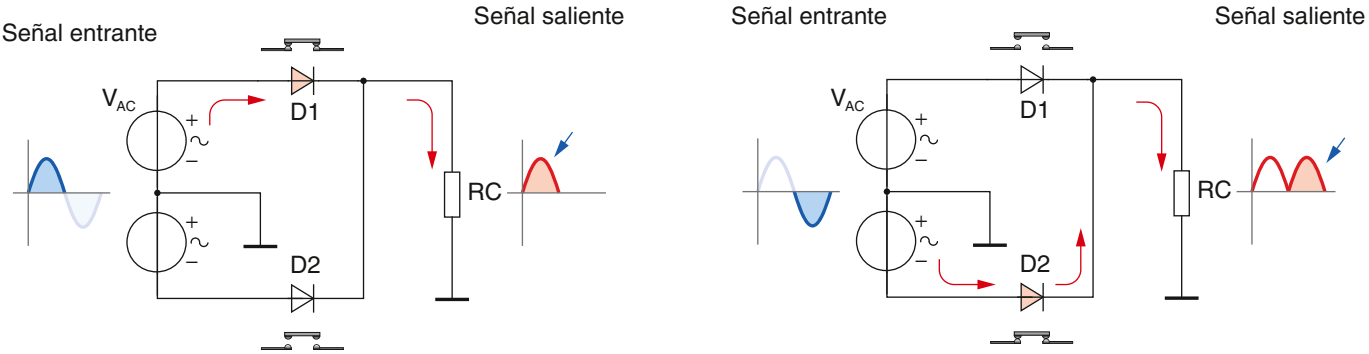



**Figura 4.34.** Rectificador monofásico de onda completa (funcionamiento en cada uno de los semiciclos).

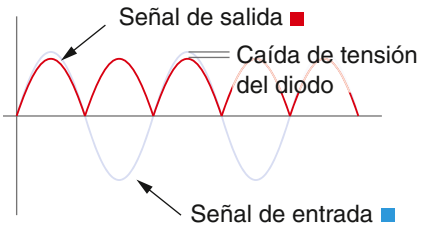
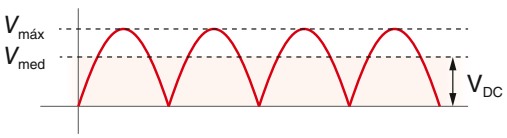



**Figura 4.36.** Señal de salida en un rectificador de onda completa.

De igual forma que en el rectificador de media onda, la tensión de salida de este circuito debe medirse con un voltímetro de corriente continua. En este caso, la lectura obtenida corresponde con el doble del valor medido en el rectificador de media onda. Es decir:




$$V_{med} \simeq 2 \cdot V_{efc} \cdot 0{,}45\ V \simeq V_{efc} \cdot 0{,}9\ V$$

**Figura 4.35.** Valor medio de una señal rectificada de onda completa.

#### Rectificador monofásico de onda completa con diodos en puente

Utiliza cuatro diodos conectados en configuración puente. Tiene la ventaja, respecto al circuito anterior, de que no requiere una fuente de tensión doble de corriente alterna.

Con esta configuración se consigue que el sentido de corriente en la carga sea el mismo para cualquiera de los semiciclos de la señal alterna de entrada. Así, en el semiciclo positivo, los diodos D2 y D3 entran en conducción, y en el negativo lo hacen los diodos D1 y D4. De esta forma, se obtiene una señal pulsatoria similar a la del rectificador de onda completa con dos diodos.

Las siguientes figuras muestran cómo la señal alterna de entrada se convierte en pulsatoria en la salida en un rectificador de onda completa con puente de diodos.

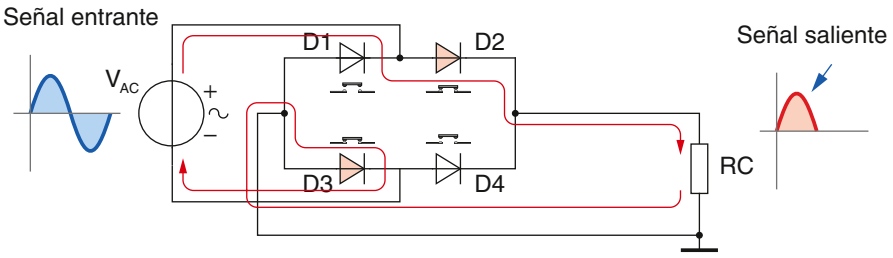



**Figura 4.38.** Sentido de la corriente en el semiciclo positivo.

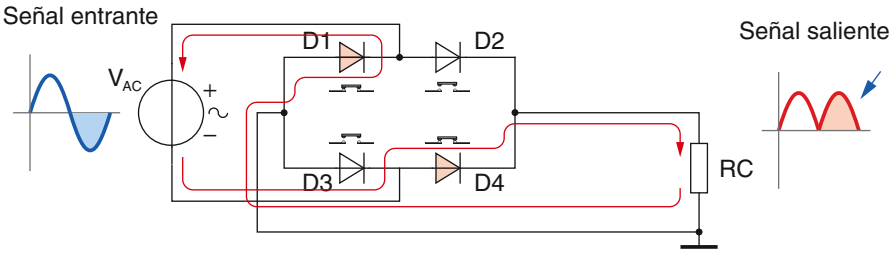



**Figura 4.39.** Sentido de la corriente en el semiciclo negativo.

En el rectificador de onda completa con puente de diodos, la caída de tensión es el doble al circuito de dos diodos, ya que en cada semiciclo la corriente debe circular a través de dos diodos en lugar de uno solo. Es decir:

$$V_{máx(salida)} = V_{máx(entrada)} - (0{,}7\ \text{V} \cdot 2) = V_{máx(entrada)} - 1{,}4\ \text{V}$$

## Saber más

Otra forma de representar el puente de diodos es:

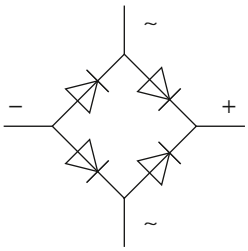



**Figura 4.37.** Puente de diodos.

## Actividades

**4.** Siguiendo el mismo planteamiento que la actividad anterior, comprueba con un simulador de circuitos electrónicos lo que se pide a continuación, para los dos tipos de rectificadores de onda completa:

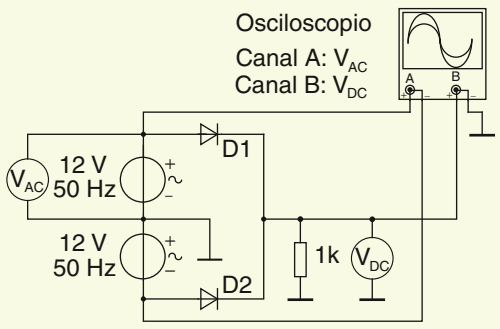



**Figura 4.40.** Circuito 1.

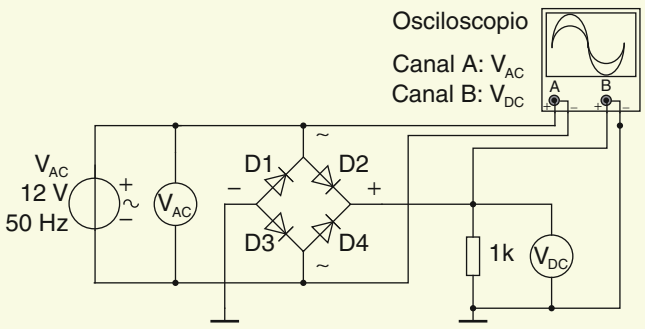



**Figura 4.41.** Circuito 2.

a) Valor de la tensión de entrada $V_{AC}$ y de salida $V_{DC}$ de cada uno de los rectificadores. Comprueba matemáticamente que los resultados obtenidos tienen valores aproximados en la simulación.

b) Formas de onda, tanto de entrada como de salida, en ambos circuitos. Observa la caída de tensión que se produce en cada uno de los circuitos. ¿Cuál de ellos tiene mayor caída de tensión? ¿Por qué?

c) Comprueba cómo afectan los resultados anteriores cuando se cambia el valor de la resistencia de carga para 10 Ω, 100 Ω y 5 kΩ. Anota los resultados en tu cuaderno y observa las diferencias con la resistencia de 1 kΩ.

# PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA

## Herramientas

- Tijeras de electricista
- Pinzas
- Polímetro
- Osciloscopio con dos sondas

## Material

- Fuente de tensión de corriente alterna de 9 $V_{AC}$
- Placa de pruebas *protoboard*
- Una resistencia de 1000 Ω (marrón-negro-rojo)
- Un diodo rectificador 1N4007
- Cables y puentes para placas de prototipos

# Rectificador de media onda

## Objetivo

- Observar la señal de salida en un rectificador de media onda con un diodo.
- Comprobar la relación que existe entre las tensiones de entrada y las de salida del rectificador.

## Precauciones

- Conocer cómo están unidos internamente los orificios de la placa de pruebas *(protoboard)*.
- Asegurarse de que las puntas de prueba del polímetro y el conmutador se encuentran en la posición adecuada para la medida a realizar.
- Ajustar la compensación de la sonda del osciloscopio antes de hacer la comprobación.

## Desarrollo

1. Monta el circuito del esquema en una placa *protoboard*.

   Los puntos marcados como 1 y 2 son los lugares donde hay que comprobar con el osciloscopio y el polímetro respecto a masa. Para ello, se deben dejar dos cables al aire para poder pinzar con la sonda del osciloscopio.

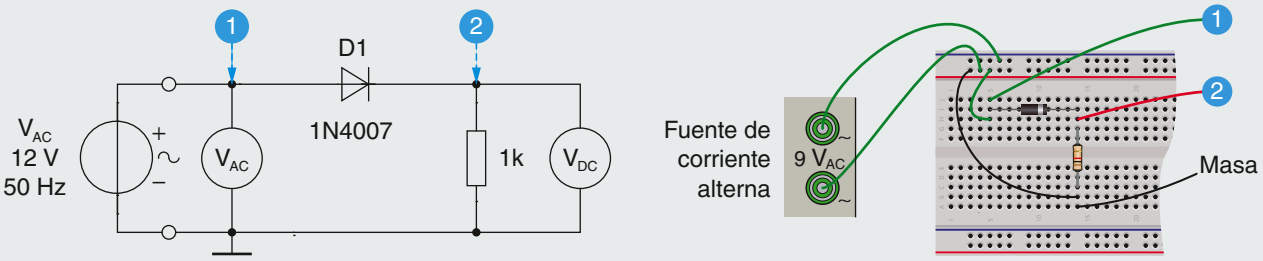



**Figura 4.42.** Esquema y montaje en placa de prototipos.

2. Mide las tensiones $V_{AC}$, de entrada al rectificador, y $V_{DC}$, de salida del circuito, con el polímetro y anota los valores obtenidos.

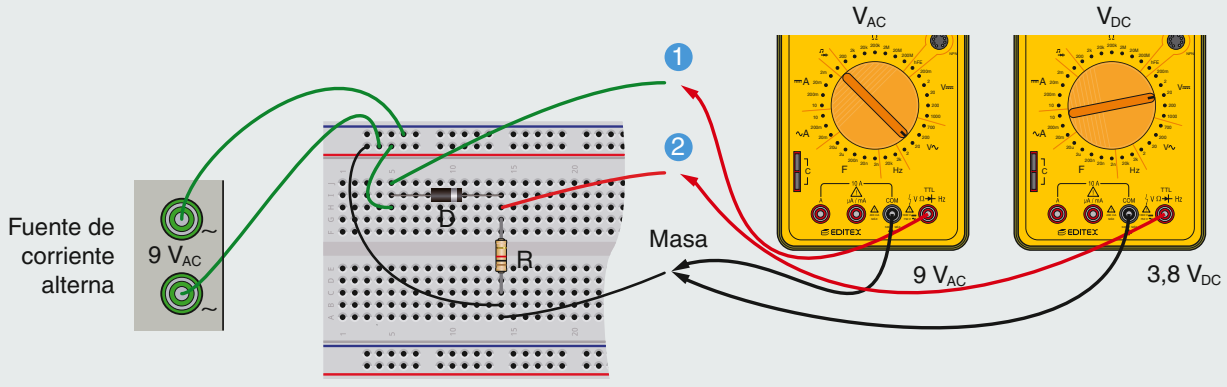



**Figura 4.43.** Medida de tensiones con el polímetro.

3. Comprueba los resultados obtenidos con los conceptos matemáticos estudiados en la unidad.

   Como se puede observar, el valor de la fuente de corriente alterna antes del diodo rectificador es de 9 $V_{AC}$ y la tensión $V_{DC}$ medida en la salida del rectificador, en las patillas de la resistencia de carga, es de aproximadamente 3,8 V. Este resultado es debido a que el valor de corriente continua obtenido es en realidad el valor medio de la señal de salida, cuya relación con la tensión de corriente alterna aplicada a la entrada es la siguiente:

$$V_{med} \simeq \frac{V_{máx} - 0{,}7\ V}{\pi} \simeq \frac{(V_{efc} \cdot \sqrt{2}) - 0{,}7\ V}{\pi} \simeq \frac{(9 \cdot \sqrt{2}) - 0{,}7\ V}{\pi} \simeq 3{,}8\ V_{DC}$$

   Ya que en este caso no es nada despreciable, hay que tener en cuenta el valor de la caída de tensión del diodo (0,7 V), que debe restarse al valor máximo de la tensión o valor de pico $V_{máx}$.

4. Con el osciloscopio y dos sondas conectadas a dos de sus canales, observa las señales de corriente alterna de entrada y de corriente continua de media onda de salida.

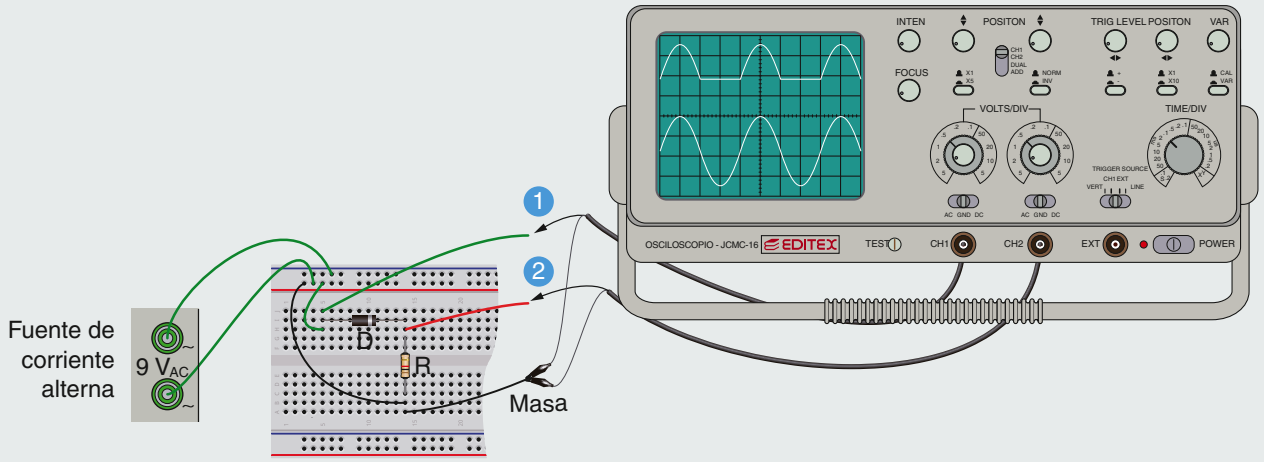



**Figura 4.44.** Comprobación de las señales de entrada y de salida con el osciloscopio.

5. Ajusta los mandos del osciloscopio para superponer ambas señales y observa la diferencia de amplitud entre ambas, debido a la caída de tensión del diodo.

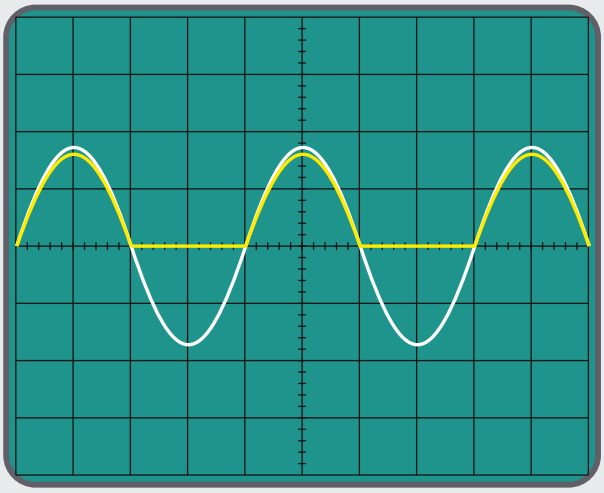


**Figura 4.45.** Comparación de ambas señales.

6. Comprueba lo que ocurre si se aumenta la tensión $V_{AC}$ de entrada.

# TEST DE EVALUACIÓN

RESUELVE EN TU CUADERNO O BLOC DE NOTAS

1. **¿Cuál es el material más utilizado en la actualidad para crear semiconductores?**
   a) Silicio.
   b) Cobre.
   c) Aluminio.
   d) Oro.

2. **¿Cómo se denominan los terminales de un diodo?**
   a) Base y emisor.
   b) Positivo y negativo.
   c) Fase y neutro.
   d) Ánodo y cátodo.

3. **Un diodo deja pasar la corriente cuando está polarizado:**
   a) De forma inversa.
   b) De forma directa.
   c) En fase.
   d) En ruptura.

4. **Cuando un diodo de silicio está en conducción, se produce en él una caída de tensión de:**
   a) 0,2 V.
   b) 0,5 V.
   c) 0,7 V.
   d) 1 V.

5. **Un diodo Zener se utiliza para:**
   a) Emitir luz.
   b) Rectificar la corriente.
   c) Aumentar el valor de tensión del circuito.
   d) Estabilizar el valor de tensión del circuito.

6. **Para que un LED se encienda:**
   a) El cátodo se debe conectar al negativo de la fuente de tensión.
   b) El ánodo se debe conectar al negativo de la fuente de tensión.
   c) Es indiferente cómo estén conectadas las patillas.
   d) Siempre se debe conectar en paralelo a una resistencia.

7. **Si en un circuito alimentado a 12 V se quiere encender un LED de color rojo, la resistencia de polarización debe ser de:**
   a) 100 Ω.
   b) 1100 Ω.
   c) 10 kΩ.
   d) 1 MΩ.

8. **Un diodo volante se utiliza para:**
   a) Proteger diodos LED.
   b) Proteger bobinas de relés.
   c) Rectificar la corriente en circuitos de potencia.
   d) Proteger circuitos que activan relés.

9. **En un circuito con un rectificador de media onda alimentado 12 $V_{AC}$, la tensión de salida en corriente continua es de:**
   a) Algo menos de la mitad del valor $V_{AC}$.
   b) Justo el doble del valor $V_{AC}$ de entrada.
   c) Un tercio del valor $V_{AC}$.
   d) 12 $V_{DC}$.

10. **En un rectificador de onda completa, el valor de tensión de la salida en $V_{DC}$, en relación con el valor eficaz de la tensión de corriente alterna de entrada es de:**
    a) 0,45 veces.
    b) 0,9 veces.
    c) Es el mismo.
    d) No hay relación entre ambos valores.

# ACTIVIDADES FINALES

**1.** Monta en una placa de prototipos los circuitos mostrados en la figura y explica por qué el LED se enciende en el circuito de la izquierda y no lo hace en el de la derecha.

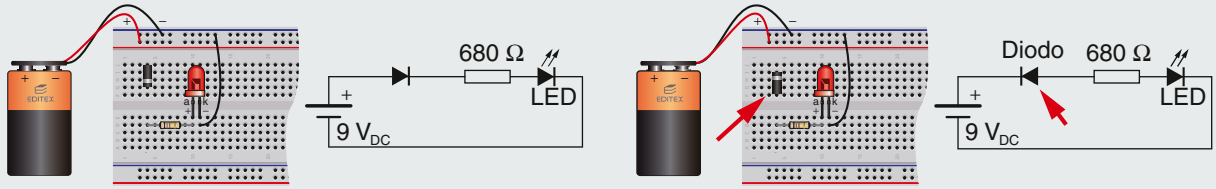



**Figura 4.46.** Comprobación de la polarizaicón de un diodo.

**2.** Calcula la resistencia de polarización de un LED de color amarillo y de otro de color azul, si se desean conectar en circuitos de 5, 15 o 24 V.

**3.** Calcula la resistencia de polarización de dos LEDs de color blanco, conectados en serie y alimentados por una tensión de 24 $V_{DC.}$

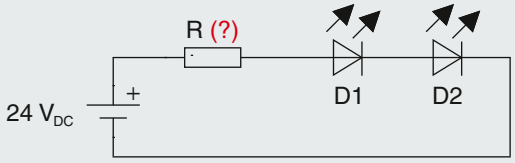



**Figura 4.47.** LEDs en serie.

**4.** ¿Cuál sería la resistencia de polarización del circuito de la actividad anterior, si los LEDs se sustituyen por otros de color blanco?

**5.** Observa los datos del circuito y deduce de qué color es el LED utilizado en él.

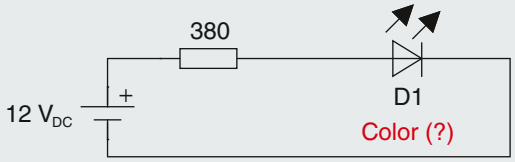



**Figura 4.48.** Averigua el color del LED.

**6.** ¿Cuál debe ser la resistencia de polarización de dos LEDs de color azul conectados en paralelo, si el circuito se alimenta a 15 $V_{DC}$?

**7.** Observa el circuito de la figura con dos LEDs de color verde conectados en antiparalelo y realiza lo siguiente:

a) Calcula la resistencia de polarización si la fuente de tensión es de 12 V.

b) ¿Es posible encender los dos LEDs a la vez? ¿Por qué?

c) ¿Cuál es la corriente máxima consumida en el circuito?

d) Monta el circuito en una placa de prototipos y comprueba cómo se enciende cada uno de los LEDs y mide, con un polímetro, la corriente que consume el circuito.

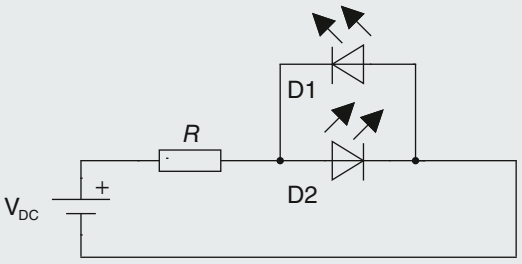



**Figura 4.49.** Diodos LED en antiparalelo.

# ACTIVIDADES FINALES

**8.** Calcula el circuito regulador de tensión basado en Zener para alimentar una carga que funciona a 12 V y cuyo consumo es de 100 mA, sabiendo que la tensión de alimentación de entrada es de 20 V.

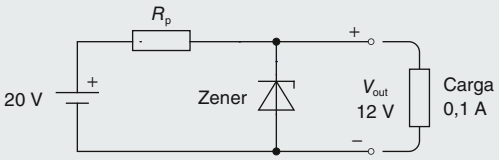



**Figura 4.50.** Circuito con Zener 1.

**9.** Calcula el circuito regulador de tensión basado en Zener para alimentar una carga que funciona a 3 V y cuyo consumo es de 10 mA, sabiendo que la tensión de alimentación de entrada es de 20 V.

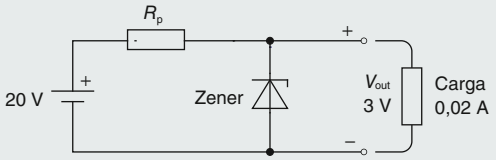



**Figura 4.51.** Circuito con Zener 2.

**10.** Monta el circuito de la figura en una placa de prototipos y, utilizando un polímetro, mide las tensiones $V_{DC}$ marcadas respecto al negativo de la fuente. ¿Qué relación hay entre ellas? ¿Por qué la tensión en menor cuanto más cerca se hace la medida de la resistencia de carga? Compara los resultados obtenidos con tu compañero de trabajo.

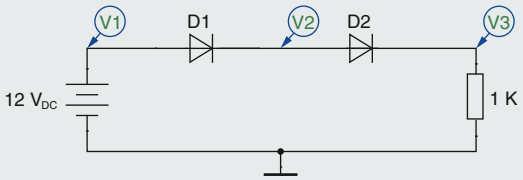



**Figura 4.52.** Comprobación de la caída de tensión en diodos.

**11.** Utilizando un programa de simulación electrónica, realiza el circuito de la figura basado en un Zener de 5,1 V y comprueba lo siguiente:

a) ¿Cuál es la tensión en los bornes del Zener aunque cambie la tensión de la fuente de alimentación?

b) ¿Qué ocurre en la tensión de salida si la fuente de alimentación entrega un valor en voltios inferior al del Zener?

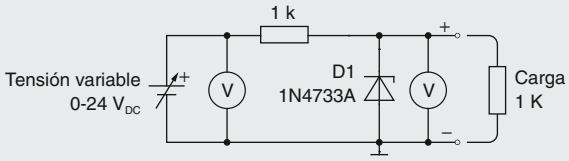



**Figura 4.53.** Circuito para la simulación con un Zener.

**12.** En el circuito de la actividad anterior, conecta dos Zener idénticos en serie. ¿Qué ocurre con la tensión de salida en esta configuración?

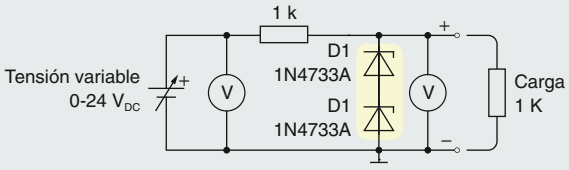



**Figura 4.54.** Circuito para la simulación con dos Zener en serie.

# PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 1

## Herramientas

- Tijeras de electricista
- Pinzas
- Polímetro
- Osciloscopio con dos sondas

## Material

- Fuente de tensión de corriente alterna de 9 $V_{AC}$
- Placa de pruebas *protoboard*
- Una resistencia de 1000 Ω (marrón-negro-rojo)
- Cuatro diodos rectificadores 1N4007
- Cables y puentes para placas de prototipos

# Rectificador de onda completa

## Objetivo

- Observar la señal de salida en un rectificador de onda completa con cuatro diodos.
- Comprobar la relación que existe entre las tensiones de entrada y las de salida del rectificador.

## Precauciones

- Conocer cómo están unidos internamente los orificios de la placa de pruebas *(protoboard)*.
- Asegurarse de que las puntas de prueba del polímetro y el conmutador se encuentran en la posición adecuada para la medida a realizar.
- Ajustar la compensación de la sonda del osciloscopio antes de hacer la comprobación.

## Desarrollo

1. Monta el circuito del esquema en una placa *protoboard*.

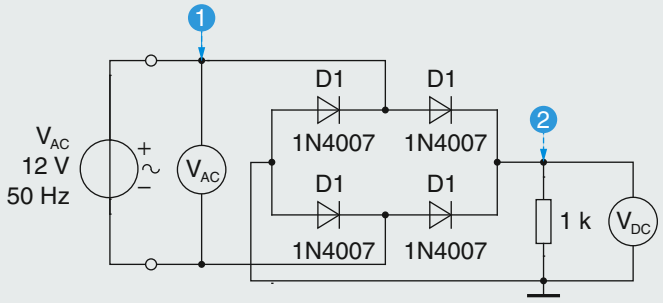



**Figura 4.55.** Esquema del rectificador y las medidas de tensión a realizar.

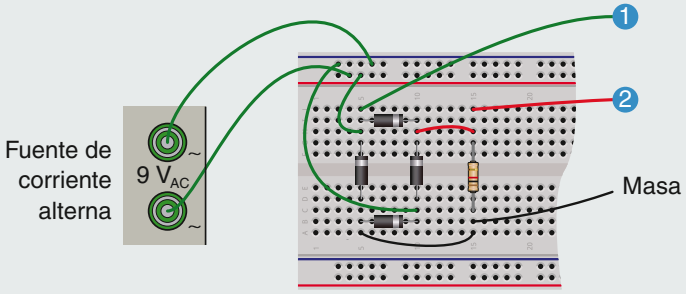



**Figura 4.56.** Montaje en la placa *protoboard* y puntos para realizar las medidas.

2. Mide las tensiones $V_{AC}$, de entrada al rectificador, y $V_{DC}$, de salida del circuito, con el polímetro y anota los valores obtenidos.
3. Deduce matemáticamente los resultados de las medidas.
4. Con el osciloscopio y dos sondas conectadas a dos de sus canales, observa las señales de corriente alterna de entrada y de corriente continua de onda completa de salida.

# PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 2

## Herramientas

- Tijeras de electricista
- Pinzas

## Material

- Fuente de tensión de alimentación de corriente continua
- Placa de pruebas *protoboard*
- Tres resistencias de 1000 Ω (marrón-negro-rojo)
- Dos resistencias de 2200 Ω (rojo-rojo-rojo)
- Diodo LED RGB con cátodo común
- Cables y puentes para placas de prototipos

# Experimentación con un LED RGB

## Objetivo

Ver cómo se polariza un LED RGB para obtener diferentes tonalidades de color.

## Precauciones

- Conocer cómo están unidos internamente los orificios de la placa de pruebas *(protoboard)*.
- Descargar de internet la hoja de características del diodo LED que vas a utilizar para conocer su patillaje y sus características eléctricas.

## Desarrollo

1. Monta el LED en una placa de prototipos, conectando una resistencia de 1k en cada una de las patillas de color.

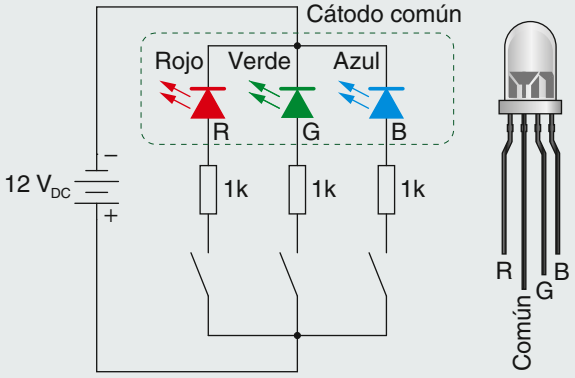



**Figura 4.57.** Esquema de conexión.

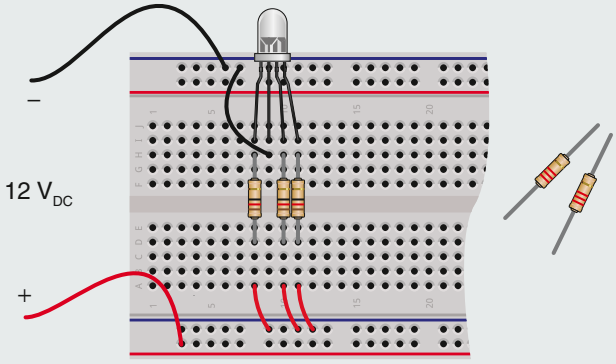
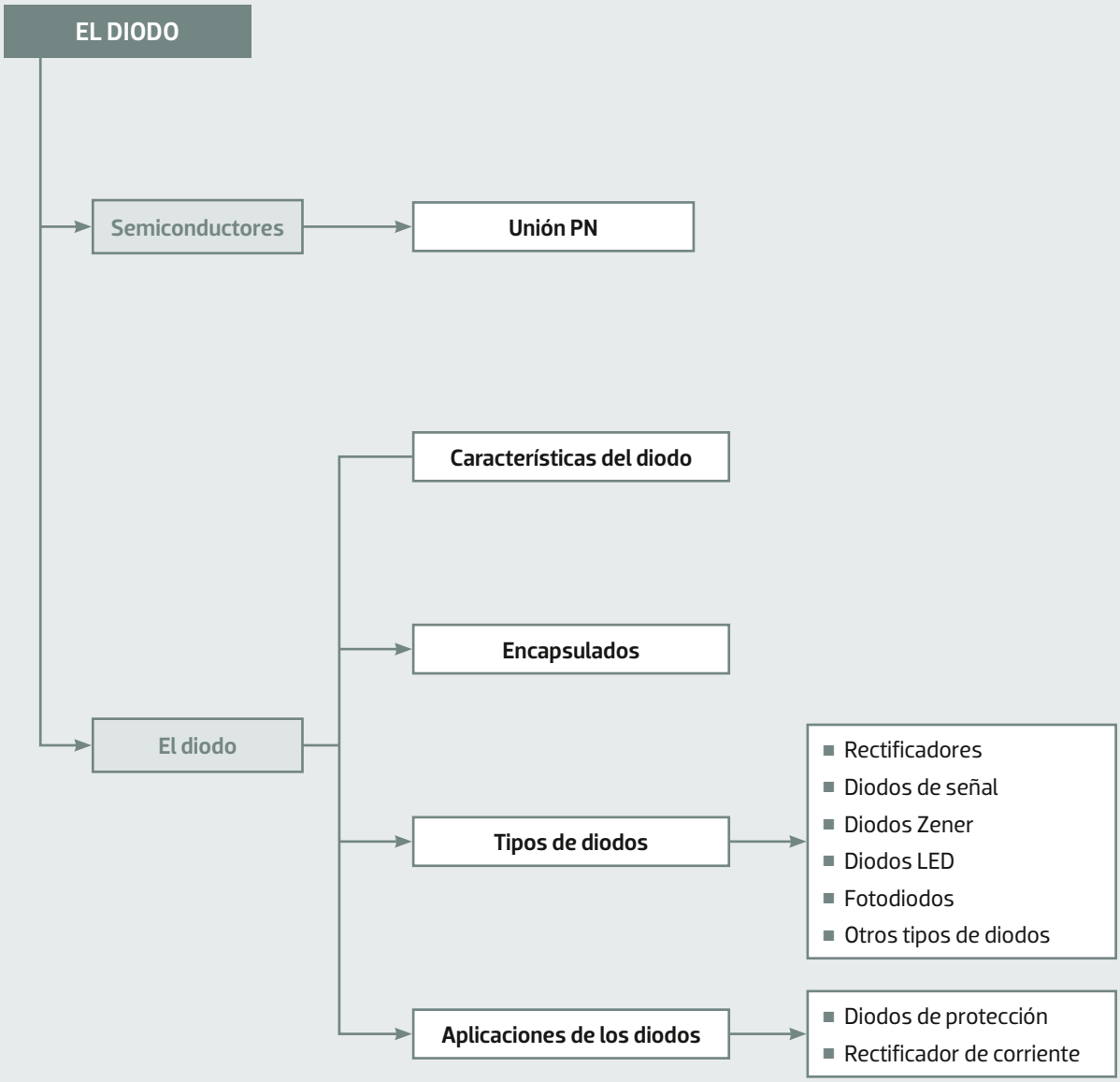


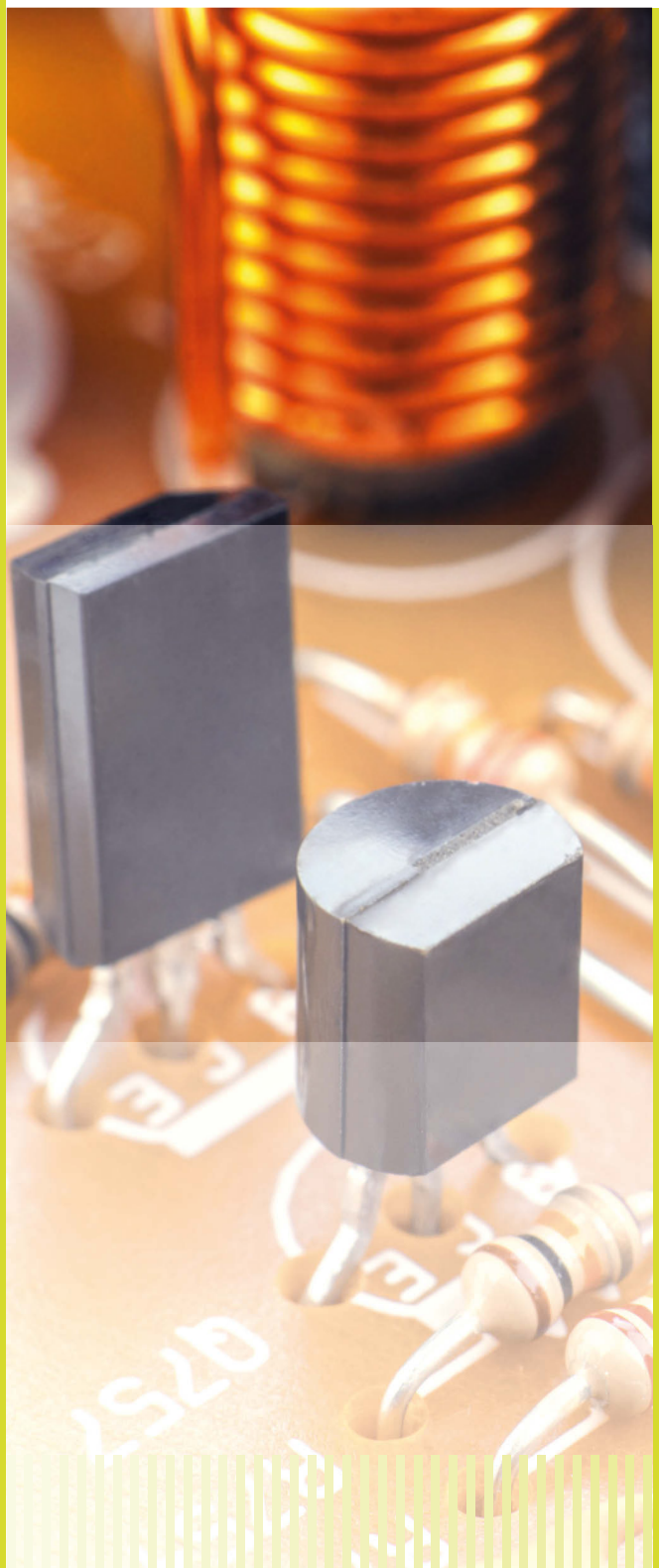

**Figura 4.58.** Montaje en placa de prototipos.

2. Deja abiertas las conexiones de la alimentación de las patillas RGB y alimenta el circuito con 12 $V_{DC}$, teniendo la precaución de que el cátodo común se conecte al negativo.
3. Puentea al positivo de la fuente de alimentación individualmente a cada una de las resistencias de las patillas RGB y observa que el LED se ilumina de rojo, verde y azul.
4. Aplica el positivo de la alimentación, a la vez en todas las resistencias, y observa que el color emitido por el LED es blanco.
5. Cambia el valor de una de las resistencias por otra de 2k2 o superior, alimenta todos los terminales a la vez y observa el color obtenido.
6. Intercambia la resistencia de 2k2 por alguna de las de 1k en cualquiera de las otras patillas y observa la tonalidad conseguida.
7. Deja en dos de las patillas resistencias de 2k2 y en la tercera la de 1k y repite la experiencia.

# EN RESUMEN


EL DIODO
Semiconductores
Unión PN
El diodo
Características del diodo
Encapsulados
Tipos de diodos
Rectificadores
Diodos de señal
Diodos Zener
Diodos LED
Fotodiodos
Otros tipos de diodos
Aplicaciones de los diodos
Diodos de protección
Rectificador de corriente

# 5 El transistor



## Vamos a conocer...

1. El transistor bipolar (BJT)
2. Circuitos prácticos con transistores BJT
3. El transistor de efecto de campo
4. Circuitos prácticos con MOSFET
5. Otros tipos de transistores

PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA

Comprobación de un transistor BJT con polímetro

PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 1

Comprobación de un transistor MOSFET con polímetro

PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 2

Conmutación de un transistor MOSFET

## Y al finalizar esta unidad...

- Aprenderás qué son los transistores y para qué se utilizan.
- Conocerás las principales características de este tipo de semiconductores.
- Identificarás los terminales de los diferentes tipos de transistores.
- Comprobarás con un polímetro varios transistores.
- Montarás circuitos de conmutación con diferentes tipos de transistores.

# 1. El transistor bipolar (BJT)

Es un componente electrónico que permite obtener una señal de salida amplificada partiendo de una señal de entrada mucho más débil y de similares características. Esta propiedad de los transistores los hace idóneos para el desarrollo de sistemas de amplificación y de conmutación.

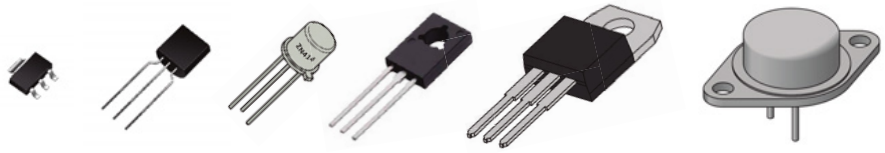


**Figura 5.1.** Ejemplos de algunos tipos de transistores.

El transistor es un semiconductor formado por la unión de tres capas de cristales de silicio, polarizadas negativa (N) o positivamente (P). En función de cómo estén distribuidas dichas capas en el interior, se pueden obtener transistores PNP o NPN. Ambos tienen un funcionamiento similar, pero el circuito de polarización para los PNP tiene los sentidos de corriente invertidos respecto al del tipo NPN:

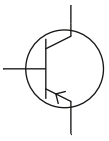
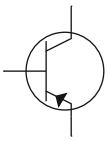
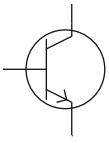
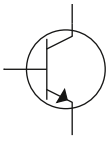
| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Transistor PNP |  |  | Q |
| Transistor NPN |  |  | Q |

**Tabla 5.1.** Transistores.

Teóricamente, se puede decir que el circuito equivalente de un transistor son dos diodos conectados en oposición, con una toma intermedia entre ambos. No obstante, esta conexión no es funcional en la práctica, aunque puede servir para entender cómo están formados los transistores y cuál es su funcionamiento.

Los transistores disponen de tres patillas que permiten conectar los cristales con el exterior. Estas se denominan base (B), emisor (E) y colector (C).

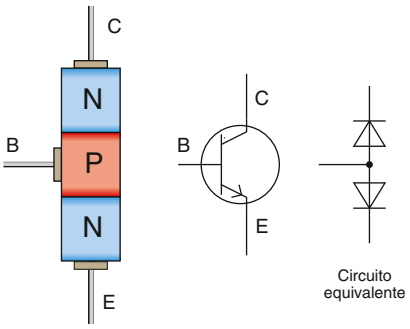



**Figura 5.3.** Transistor NPN.

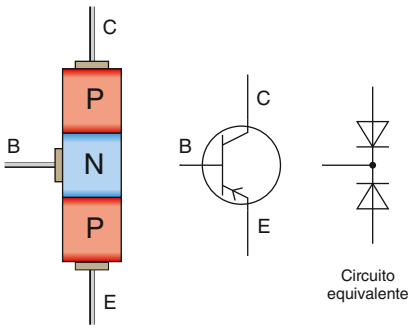



**Figura 5.4.** Transistor PNP.

## Saber más

El transistor se inventó en el año 1956 y revolucionó por completo la industria de la electrónica, ya que permitió fabricar equipos mucho más pequeños que los usados hasta entonces.

## Vocabulario

**BJT** son las iniciales de *bipolar junction transistor*.

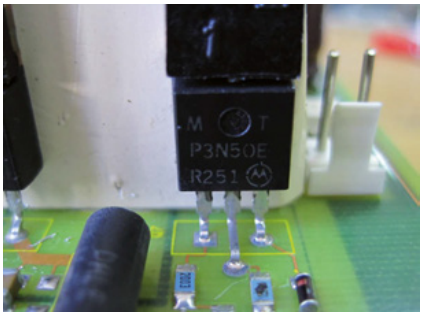



**Figura 5.2.** Transistor en un circuito.

## Saber más

El nombre de «transistor» viene de unir las palabras en inglés *transfer resistor*, ya que este componente puede variar su resistencia interna en función de una señal de entrada o de control.

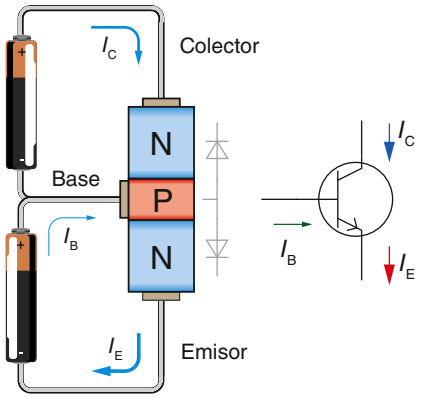



**Figura 5.5.** Corrientes de un transistor NPN.

## 1.1. Funcionamiento del transistor

Sin entrar en detalles sobre cómo se produce el movimiento de cargas a nivel electrónico en el interior del semiconductor, se puede decir que un transistor es un dispositivo de estado sólido en el que, al hacer circular una corriente débil en la base $I_B$, es posible controlar una corriente proporcionalmente mucho mayor entre el colector y el emisor.

Así, cuando un transistor se encuentra en funcionamiento, están circulando por él tres corrientes, una por cada terminal, cuya relación entre ellas es la siguiente:

$$I_E = I_C + I_B$$

Como la corriente de la base es muy débil, se puede observar que las corrientes del emisor y del colector son casi iguales. Esto quiere decir que con un transistor es posible gestionar una corriente relativamente fuerte entre el emisor y el colector mediante una corriente muy débil que se hace circular por la base.

## 1.2. Formas de conectar un transistor

Las etapas formadas por transistores disponen de tres puntos de conexión: una entrada, una salida y el punto común para ambas. En función de cómo esté conectado este punto, las conexiones que se pueden hacer son: emisor común, colector común y base común.

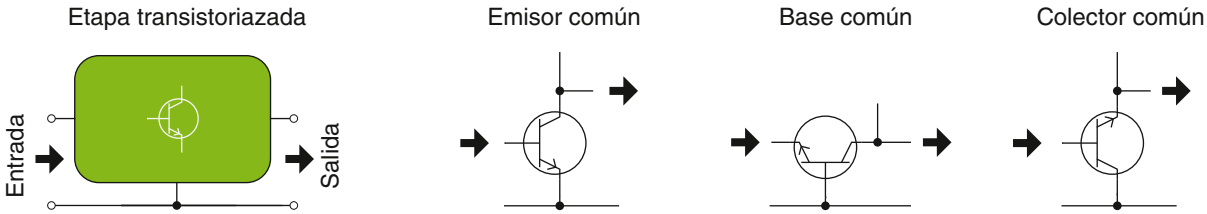



**Figura 5.6.** Conexiones del transistor.

De todas estas configuraciones, la más ampliamente aceptada es la de emisor común. Por tanto, es la que se más va a utilizar, con transistores NPN, en los ejemplos y actividades de esta unidad.

## Actividades

**1.** Utilizando un *software* de simulación, dibuja y simula el circuito de la figura. Observa lo que ocurre con la corriente en el colector y el emisor a medida que se ajusta la corriente de la base. Anota en tu cuaderno los valores de $I_C$ e $I_E$ para cinco o seis valores de $I_B$. Comprueba que se cumple la relación entre corrientes.

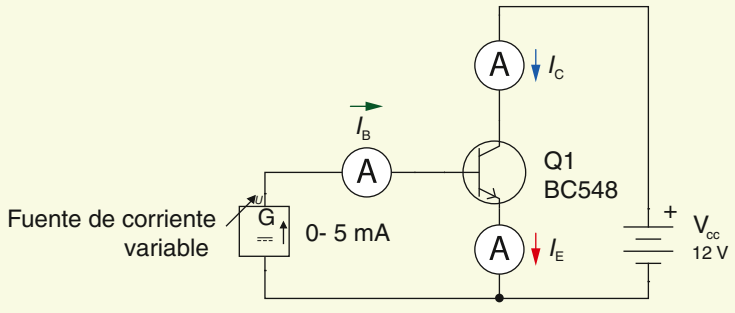



**Figura 5.7.** Circuito para simulación.

En la base debes conectar una fuente de corriente variable cuyo valor máximo sea de 5 o 10 mA. La fuente de tensión de la derecha debe tener un valor fijo de tensión, por ejemplo, 12 V.

## 1.3. Circuito de polarización de un transistor

Polarizar un transistor consiste en adaptar las tensiones de la alimentación para que este pueda trabajar de forma idónea en las diferentes zonas de trabajo y sin que se destruya. La resistencia del colector $R_C$ corresponde a la resistencia de la carga. La resistencia de la base $R_B$ permite polarizar este terminal para conseguir la corriente óptima que debe circular por ella en función del tipo de trabajo que debe realizar el transistor. Es evidente que todas las corrientes están relacionadas entre sí, y, por tanto, la polarización de la base depende de las tensiones de trabajo y la resistencia que hay en el colector.

Para que las corrientes anteriormente nombradas fluyan por los terminales del transistor, es necesario que los «diodos» imaginarios que existen entre sus terminales estén polarizados de forma directa entre la base y el emisor, y de forma inversa entre la base y el colector, ya que si esto no se hace así, el desplazamiento de cargas no se produce y, por tanto, tampoco el efecto de amplificación deseado.

La polarización del transistor PNP es similar a la del NPN, pero cambiando las polaridades de las fuentes de tensión y, por tanto, los sentidos de corriente de cada una de las mallas del circuito.

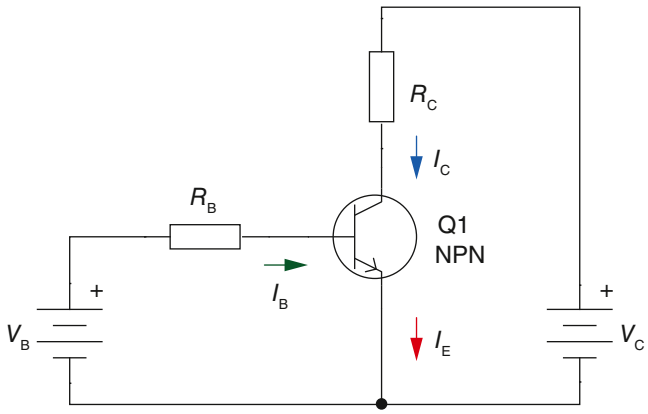



**Figura 5.8.** Polarización del transistor NPN.

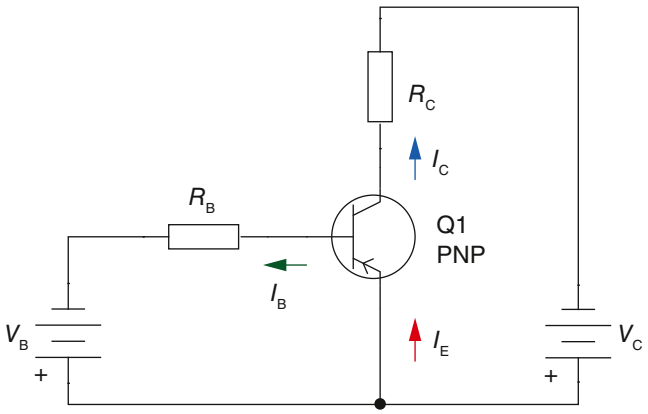



**Figura 5.9.** Polarización del transistor PNP.

El uso de una sola fuente de tensión simplifica el circuito de polarización del transistor. A este circuito se le denomina de «polarización directa» y la polaridad de los terminales depende del tipo de transistor, NPN o PNP.

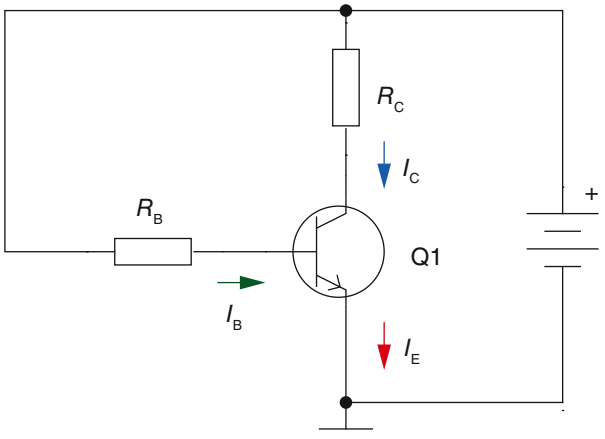



**Figura 5.10.** Polarización directa del transistor NPN.

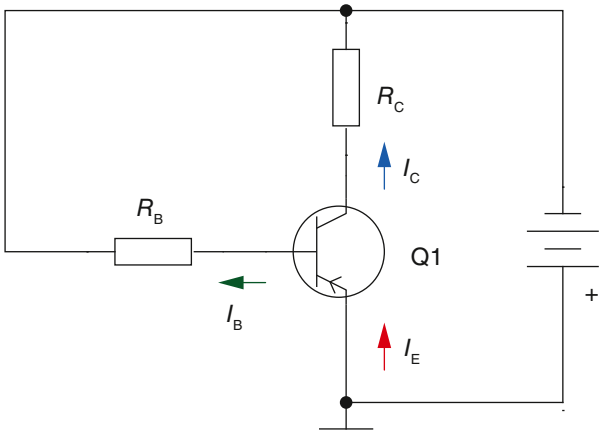



**Figura 5.11.** Polarización directa del transistor PNP.

## Saber más

### En tu profesión

Muchos polímetros disponen de un zócalo, en el que se debe insertar el transistor, y así comprobar su ganancia.

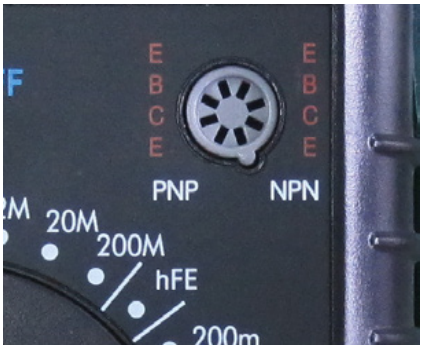



**Figura 5.12.** Toma del polímetro para comprobar la ganancia de los transistores.

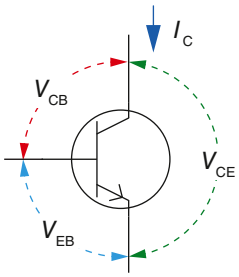



**Figura 5.13.** Tensiones entre terminales de un transistor.

## 1.4. Características del transistor

Los transistores, igual que otros componentes electrónicos, disponen de una serie de características que es necesario conocer y saber interpretar, para poderlos utilizar o reemplazar adecuadamente en los circuitos. Estas características se encuentran en las hojas de datos o *data sheets* que facilitan los fabricantes.

A continuación se describen algunas de ellas:

### 1.4.1. Tensiones máximas entre terminales

Son las tensiones máximas con las que puede trabajar el transistor entre sus patillas antes de que sea dañado o destruido. Estas tensiones suelen darse entre dos de los terminales, considerando que el tercero se encuentra abierto o sin conexión *(open)*. Así, los fabricantes aportan los siguientes datos en relación a las tensiones máximas que el transistor puede manejar entre sus terminales:

- $V_{CEO}$ – Tensión entre colector y emisor, con base sin conexión.
- $V_{CBO}$ – Tensión entre colector y base, con emisor sin conexión.
- $V_{EBO}$ – Tensión entre emisor y base, con colector sin conexión.

En los transistores NPN el valor de tensión es positivo y en los PNP es negativo.

### 1.4.2. Corriente de colector

Es la corriente máxima que puede manejar la carga conectada en el colector del transistor. Si se supera dicha corriente, el transistor se puede dañar de forma irremediable. Suele representarse como $I_C$ y se da en mA.

### 1.4.3. Temperatura de la unión *(junction temperature)*

Se representa con el símbolo $T_J$ e indica cuál es la temperatura máxima que puede soportar la unión interna de los cristales del transistor antes de que se destruya.

A continuación, se muestra un ejemplo de los datos máximos que aparecen en la hoja de características de los transistores BC337 y BC338.

**Absolute Maximum Ratings**

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only. Values are at $T_A$ = 25°C unless otherwise noted.

| Symbol | Parameter | | Value | Unit |
|---|---|---|---|---|
| $V_{CES}$ | Collector-Emitter Voltage | BC337 | 50 | V |
| | | BC338 | 30 | |
| $V_{CEO}$ | Collector-Emitter Voltage | BC337 | 45 | V |
| | | BC338 | 25 | |
| $V_{EBO}$ | Emitter-Base Voltage | | 5 | V |
| $I_C$ | Collector Current (DC) | | 800 | mA |
| $T_J$ | Junction Temperature | | 150 | °C |
| $T_{STG}$ | Storage Temperature | | -55 to 150 | °C |

© 2002 Fairchild Semiconductor Corporation


**Figura 5.14.** Valores máximos de la hoja de características de un transistor (cortesía Fairchild).

### 1.4.4. Potencia de disipación máxima

Es la potencia, en vatios (W) o milivatios (mW), que puede disipar un transistor, y puede calcularse de forma muy aproximada con la expresión: $P = I_C \cdot V_{CE}$. Así, cuanto más se acerca el transistor a su potencia máxima de disipación, mayor calor se genera en él.

Los transistores BJT no son buenos amigos del calor, ya que, cuando aumenta la temperatura en su encapsulado, se modifican sus características eléctricas y, por tanto, su comportamiento en el circuito. Si, además, esta temperatura supera ciertos límites, el transistor puede llegar a destruirse.

Muchos tipos de transistores no son capaces de disipar el calor que producen cuando trabajan a su máxima potencia. Por este motivo, es necesario «ayudarlos» a evacuar dicho calor con un elemento externo denominado disipador. Los disipadores son piezas metálicas, normalmente de aluminio, con diferentes geometrías que se fijan al cuerpo del transistor, aumentando así el área de evacuación del calor.

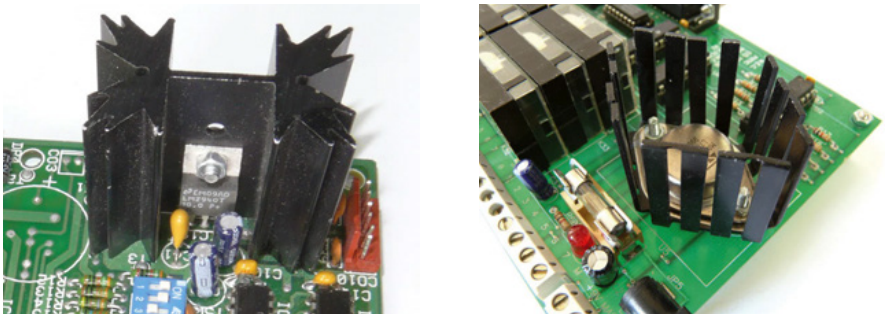


**Figura 5.15.** Transistores con disipadores de calor.

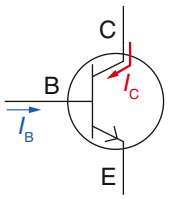
## Saber más

### En tu profesión

En muchas ocasiones, para facilitar la difusión del calor entre el encapsulado del transistor y el disipador, suele aplicarse entre ambos una pasta termoconductora.

### 1.4.5. Ganancia en corriente

Es la relación existente entre la corriente del colector $I_C$ y la de la base $I_B$. Se identifica con el símbolo $h_{FE}$, aunque en ocasiones también se suele representar con la letra griega beta (β).




$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$$

**Figura 5.17.** Corriente de la base y del colector en un transistor NPN y relación que existe entre ellas.

La ganancia se expresa mediante un número sin unidades. Generalmente, este número se da entre un mínimo y un máximo, ya que dicho valor puede ser diferente incluso en transistores del mismo tipo y de la misma serie.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $h_{FE1}$ | DC Current Gain | $V_{CE}$ = 1 V, $I_C$ = 100 mA | 100 | | 630 |
| $h_{FE2}$ | | $V_{CE}$ = 1 V, $I_C$ = 300 mA | 60 | | |

**Figura 5.18.** Ejemplo de ganancia en la hoja de características del transistor BC37.

La ganancia se ve afectada enormemente con la temperatura y la corriente que circulan por el colector, por lo que los fabricantes suelen dar curvas que representan su valor para estos parámetros.

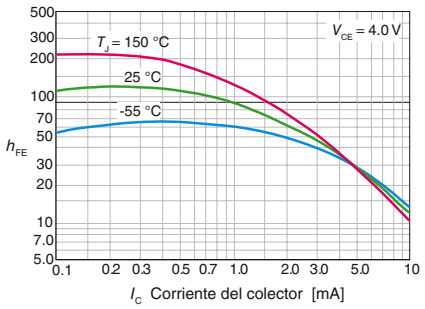



**Figura 5.16.** Ganancia para diferentes temperaturas y valores de $I_C$.

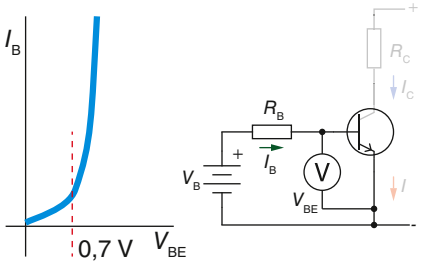



**Figura 5.19.** Característica de la entrada del transistor.

## 1.4.6. Característica de entrada

Es la variación de corriente de la base $I_B$ en función de la variación de tensión que ocurre entre la base y el emisor $V_{BE}$, manteniendo fijo el valor de la tensión entre el colector y el emisor $V_{CE}$. Los terminales de la base y el emisor se comportan como si entre ellos hubiese un diodo. Por ese motivo, la característica de entrada tiene una curva similar a la de la polarización directa del diodo. En ella se observa que el diodo B-E (base-emisor) entra en conducción cuando se supera la tensión de umbral de 0,7 V en los transistores de silicio y 0,2 en los transistores de germanio.

## 1.4.7. Característica de salida

La característica o curva de salida de un transistor se consigue manteniendo fijo el valor de la corriente de la base $I_B$ para determinados valores de tensión entre el colector y el emisor $V_{CE}$, obteniendo así diferentes valores de corriente en el colector $I_C$. Si dichos puntos se representan sobre un sistema de coordenadas, en el que el eje *X* representa la tensión colector-emisor $V_{CE}$ y el eje *Y* la corriente del colector $I_C$, y se unen entre sí, se obtiene una familia de curvas, denominada característica de salida, que resulta de gran utilidad para entender cómo se comporta un determinado modelo de transistor.

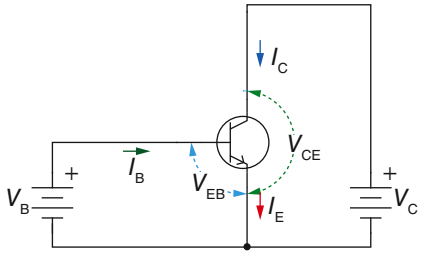



**Figura 5.20.** Tensiones y corrientes en un transistor.

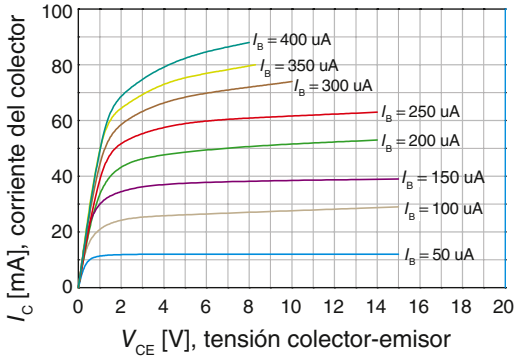



**Figura 5.21.** Curvas características de salida de un transistor.

## Actividades

**2.** Utilizando un *software* de simulación electrónica, obtén la característica de salida de un transistor BC547 para determinados valores fijos de corriente en la base $I_B$. Para ello, completa en tu cuaderno la tabla de los valores obtenidos de $I_C$ para los diferentes valores dados de $V_{CE}$ e $I_B$. Después, representa los puntos en un sistema de coordenadas, dibujando las curvas resultantes, en el que el eje X es la tensión del colector emisor $V_{CE}$, y el eje Y es la corriente del colector $I_C$.

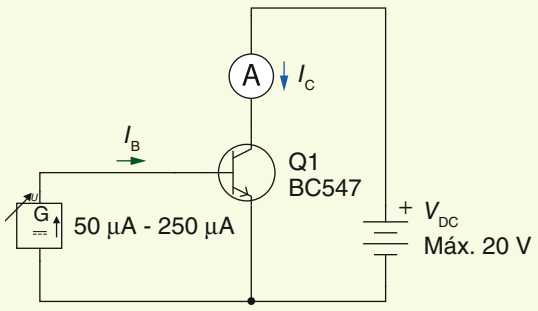



**Figura 5.22.** Circuito para simular.

| $V_{CE}$ | $I_B$ (valores fijos de corriente de la base) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 50 µA | 100 µA | 150 µA | 200 µA | 250 µA |
| | $I_C$ (valores obtenidos para la corriente del colector) | | | | |
| 1 V | | | | | |
| 4 V | | | | | |
| 12 V | | | | | |
| 16 V | | | | | |
| 20 V | | | | | |

CUADERNO

**Tabla 5.2.** Tabla de recogida de datos.

## 1.5. Modos o zonas de trabajo del transistor

Los transistores pueden funcionar en tres modos o zonas de trabajo. Para una mejor compresión de cuáles son estas zonas, se han representado sobre el gráfico de curvas de salida del transistor.

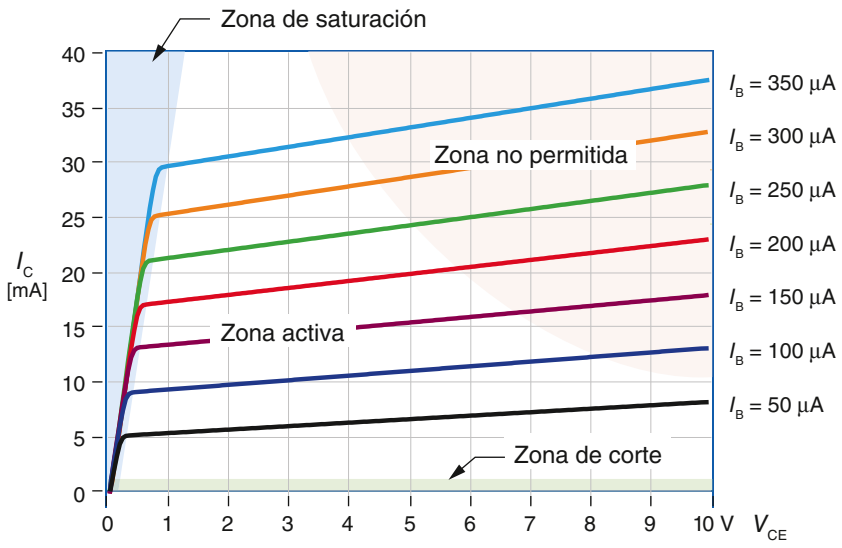



**Figura 5.23.** Zonas de trabajo de un transistor BJT sobre las curvas de salida.

**En saturación:** el transistor se comporta como si fuese un interruptor eléctrico cerrado, dejando pasar la corriente entre el emisor y el colector, controlando así la carga que se encuentra conectada al colector. En este caso, la corriente del colector $I_C$ es prácticamente la que consume la carga $R_C$. Y el valor de tensión entre el colector y el emisor $V_{CE}$ es casi 0 V.

La corriente $I_C$ máxima o de saturación se puede calcular de forma muy aproximada aplicando la ley de Ohm, como se muestra en la figura 5.24.

**En corte:** es el funcionamiento opuesto al anterior. En este caso, el transistor se comporta como un interruptor abierto y, por tanto, se interrumpe el paso de corriente entre el colector y el emisor.

Véase un ejemplo de un transistor trabajando como interruptor para controlar el encendido y apagado de un LED. En el modo *en corte,* al no haber corriente en la base, tampoco la hay en el colector y, por tanto, el LED permanece apagado. En el modo *en saturación,* al aplicar corriente a la base a través de $R_B$, el transistor se hace conductor, encendiendo el LED, ya que circula corriente por el colector.

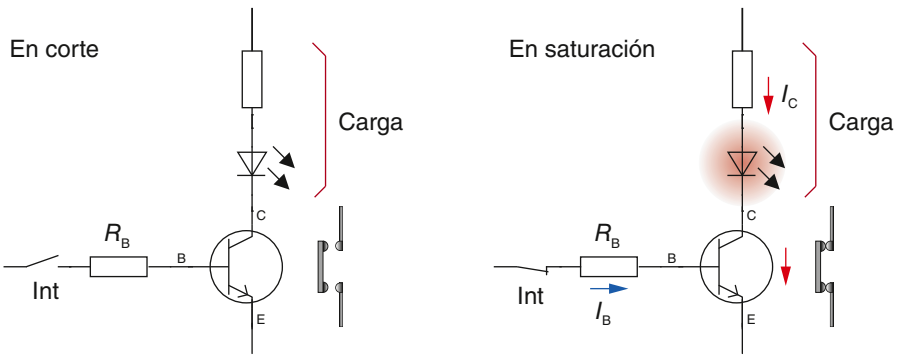



**Figura 5.26.** Transistor como interruptor electrónico.

### Recuerda

En un transistor en saturación, la tensión entre el colector y el emisor $V_{EC}$ no tiene valor nulo, ya que en realidad es de aproximadamente 0,2 V. Así, dependiendo de si el valor de la tensión $V_C$ es elevado, este dato puede despreciarse sin demasiado margen de error.

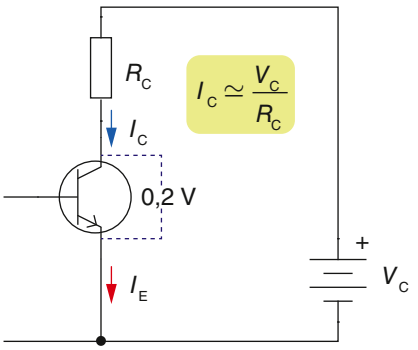



**Figura 5.24.** Cálculo de la corriente máxima en el colector.

### Recuerda

El funcionamiento en corte y en saturación de un transistor se comporta de forma similar a un pulsador electromecánico. Cuando el pulsador no está accionado, el contacto está abierto (en corte). Cuando el pulsador se acciona, el contacto se cierra (saturación).

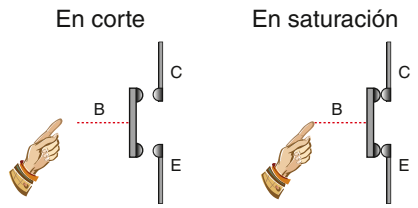



**Figura 5.25.** Símil eléctrico del funcionamiento de un transistor en corte y en saturación.

## Recuerda

Cuando el transistor trabaja en corte, existe una pequeña corriente de fuga entre el colector y el emisor.

**En activa:** en esta configuración, el transistor permite convertir las señales débiles que se aplican en la base en otras de mayor magnitud que salen amplificadas por el colector. Es decir, el transistor trabaja como amplificador de señal.

Cuando se trabaja en la zona activa, debe evitarse que el transistor entre en corte o en saturación, ya que esto provocaría en el circuito perturbaciones y distorsiones no deseadas. Por tanto, es importante encontrar un punto de equilibrio en el circuito de polarización de la base para evitar que esto ocurra.

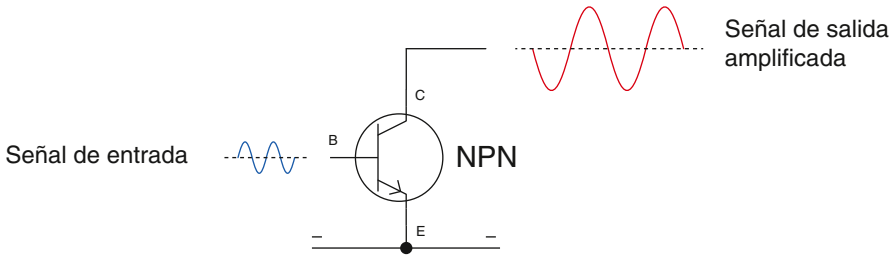



**Figura 5.27.** Señales de entrada y de salida en zona activa.

**Zona no permitida:** también denominada de ruptura o avalancha, es la zona en el que el transistor corre el peligro de dañarse o destruirse de forma irremediable, ya que si el transistor trabaja en esta zona, significa que se han superado los valores máximos de corriente y tensión especificados por el fabricante.

## Ejemplo

**Se desea conocer el valor de la resistencia de polarización de la base de un transistor, cuya ganancia es de 100, que trabajará como interruptor. La carga a controlar ($R_C$) es de 280 Ω, sabiendo que la malla colector-emisor se alimenta con 12 V y la malla base-colector con 5 V.**

Desarrollo de cálculo:

1. Por la ley de Ohm se calcula la corriente de saturación del colector, sabiendo que $V_C = 12$ V y $R_C = 280\ \Omega$.

$$I_C \simeq \frac{V_C}{R_C} = \frac{12\ \text{V}}{280\ \Omega} = 0{,}043\ \text{A}$$

2. Una vez calculada $I_C$, y conociendo la ganancia del transistor, es posible calcular la corriente de la base:

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}\text{, despejando: } I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{0{,}043\ \text{A}}{100} = 0{,}00043\ \text{A}$$

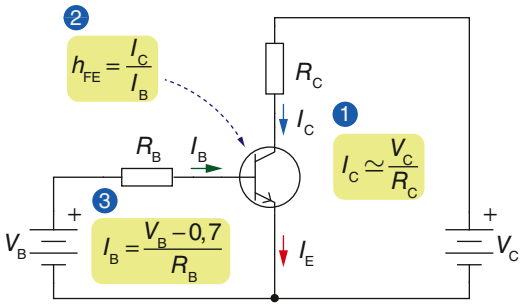



**Figura 5.28.** Circuito de ejemplo.

3. Por tanto, la resistencia de polarización $R_B$ se puede calcular también por la ley de Ohm aplicada en la malla base-colector, teniendo en cuenta que la caída de tensión entre la base y el colector en un transistor de silicio es de 0,7 V.

$$I_B = \frac{V_B - 0{,}7\ \text{V}}{R_B}\text{, despejando: } R_B = \frac{V_B - 0{,}7\ \text{V}}{I_B} = \frac{5\ \text{V} - 0{,}7\ \text{V}}{0{,}00043\ \text{A}} = 10\,000\ \Omega$$

Se elige, por tanto, una resistencia de 10k (marrón, negro, naranja), ya que es un valor comercial.

Nota: Si no se tiene en cuenta el valor de 0,7 V entre los terminales de base y el colector, el resultado para $R_B$ sería ligeramente diferente (11 627 Ω), aunque, en este caso, permitiría realizar la conmutación sin problemas.

## 1.6. Otros tipos de transistores BJT

### 1.6.1. Transistor Darlington

Es un componente electrónico que dispone de dos transistores BJT conectados en cascada y se encuentran integrados en el mismo encapsulado. Esta configuración permite, con una corriente muy débil en la base, disponer de una corriente muy elevada en el colector, consiguiéndose un transistor de elevada ganancia o «superbeta». La conexión de los terminales entre ambos transistores se hace uniendo el emisor del primero con la base del segundo y los dos colectores de ambos transistores en el mismo punto. De esta forma, se consiguen tres terminales que se denominan de igual forma que en cualquier otro transistor BJT, es decir, base, emisor y colector.

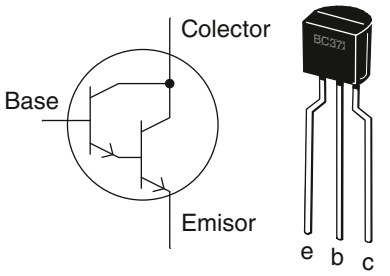



**Figura 5.29.** Símbolo y encapsulado de un transistor Darlington NPN.

### 1.6.2. Fototransistor

Es un transistor en el que la corriente de la base cambia en función de la luz externa captada por un elemento fotosensible. Tiene un funcionamiento similar al fotodiodo, pero con la particularidad de disponer de mayor ganancia y, por tanto, es más adecuado para aplicaciones que requieren captar señales débiles de luz. Algunos modelos disponen de dos patillas (colector y emisor) más el elemento captador de luz, que es el que hace las funciones de la base, y tienen un aspecto similar a los fotodiodos. Otros modelos disponen también del terminal de base, por si es necesario su control mediante un circuito externo.

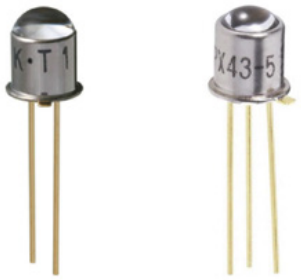


**Figura 5.30.** Fototransistores de dos y tres patillas.

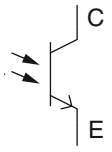
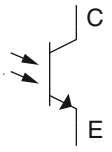
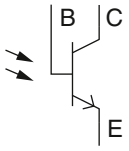
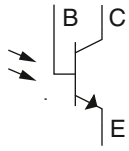
| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Fototransistor de dos patillas |   |   | Q |
| Fototransistor con conexión externa de la base |   |   | Q |

**Tabla 5.3.** Fototransistor.

### 1.6.3. Optoacoplador basado en transistor

Es un componente integrado que dispone de un conjunto emisor-receptor en un mismo dispositivo. El emisor es un diodo LED y el receptor, en este caso, es un fototransistor. Ambos elementos forman una barrera luminosa en la que el LED es polarizado en directa y emite luz, activando el paso de corriente a través del fototransistor que funciona en corte y saturación a modo de interruptor.

El símbolo del optoacoplador es:

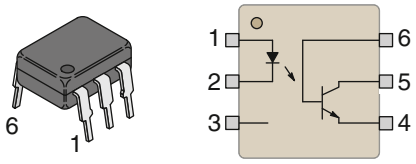



**Figura 5.31.** Pineado de un optoaislador de un canal.

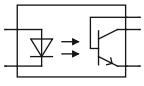
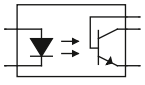
| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Optoacoplador basado en transistor |  |  | U |

**Tabla 5.4.** Optoacoplador.

# 2. Circuitos prácticos con transistores BJT

A continuación, se muestran algunos circuitos básicos para experimentar el funcionamiento de los transistores BJT.

## 2.1. El transistor como interruptor

Es un tipo de circuito muy utilizado en todo tipo de aplicaciones industriales y domésticas para controlar la activación y desactivación de dispositivos. Consiste en hacer trabajar al transistor en la zona de corte o saturación para que se comporte como un interruptor.

Los circuitos que se muestran al margen están basados en el circuito de polarización directa visto anteriormente, no obstante, también es posible utilizar la misma configuración en los circuitos de polarización con dos fuentes de tensión.

La carga utilizada es un diodo LED con su resistencia de polarización, aunque podría ser cualquier otro tipo de carga como un relé, una lámpara incandescente, un zumbador, etc.

El primer circuito muestra cómo utilizar un transistor para controlar el encendido de un diodo LED. En este caso, el control se hace mediante un interruptor electromecánico. Así, cuando el pulsador está normalmente abierto, la corriente de la base en nula y, por tanto, el transistor está en corte. Si el pulsador se cierra, circula corriente por la base, poniendo el transistor en saturación y encendiendo el diodo LED.

Sin embargo, el segundo circuito presenta un funcionamiento inverso al anterior. Cuando el pulsador está abierto, el LED se encuentra permanentemente encendido, ya que la base está polarizada de forma permanente mediante $R_1$. Pero si se acciona el pulsador, la base se pone a masa, dejando de circular la corriente por ella, conmutando el transistor al corte y apagando el diodo LED.

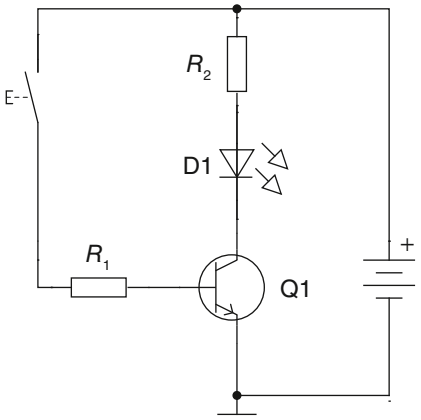



**Figura 5.32.** Transistor como interruptor a la activación.

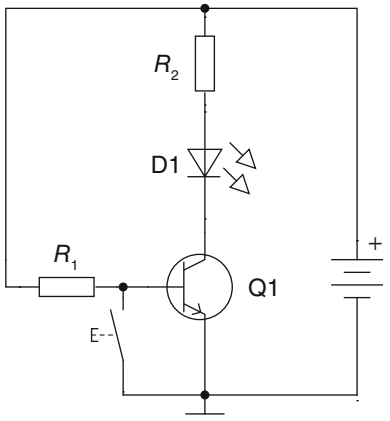



**Figura 5.33.** Transistor como interruptor a la desactivación.

### 2.1.1. Interruptores con BJT y sensores

Muy utilizados en todo tipo de automatismos, tanto domésticos como industriales, son circuitos que utilizan algún tipo de componente pasivo o activo para detectar alguna magnitud física (luz, temperatura, etc.) y así actuar sobre un transistor que funciona en corte y saturación.

A continuación, se muestran dos ejemplos básicos de este tipo de circuitos.

**Circuito 1:** es un circuito en el que la carga se encuentra desactivada en reposo y se activa cuando disminuye el valor óhmico del sensor. En el ejemplo se muestra el uso de una resistencia dependiente de la temperatura o una resistencia dependiente a la luz LDR, que, como se puede observar, actúa como si de un elemento de conmutación se tratase.

La resistencia $R_1$ es la de polarización de la base del transistor y debe calcularse en función de la carga. Y la resistencia $R_2$ es opcional, ya que permite polarizar la base del transistor al polo negativo ante la usencia de señal del sensor.

**Circuito 2:** es un circuito que funciona de forma inversa al anterior. Es decir, su funcionamiento es a la desactivación. En este caso, la carga está activada en reposo y se desactiva cuando el dispositivo sensor aumenta su valor óhmico.

En este caso, $R_1$ es la resistencia de polarización y $R_2$ una resistencia de valor elevado que evita que la fuente se ponga en cortocircuito cuando el valor óhmico de los sensores es muy pequeño.

En ambos circuitos se puede disparar el transistor mediante cualquier tipo de sensor que varíe su valor óhmico de forma manual o mediante el cambio de alguna magnitud física, como una fotorresistencia o un termistor.

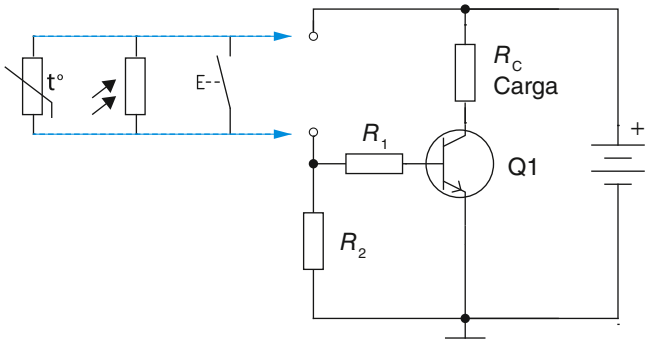



**Figura 5.34.** Circuito para activación.

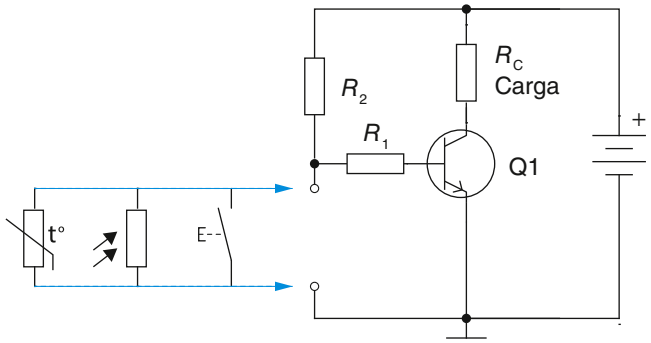



**Figura 5.35.** Circuito para desactivación.

### 2.1.2. Temporizador

Aprovechando el efecto de carga y descarga de un condensador, es posible realizar acciones temporizadas sobre un transistor que funcione en corte y saturación.

El siguiente ejemplo muestra que, cuando se acciona el pulsador, la base del transistor polariza, activando la carga $R_C$ y cargando el condensador. Cuando cesa la acción sobre el pulsador, el temporizador se descarga lentamente manteniendo polarizada la base del transistor, y, por tanto, activada la carga. Cuando la carga del condensador es baja, la base del transistor deja de polarizarse y, por tanto, entra en corte, desactivando la carga. Cuanto mayor sea el valor en microfaradios del condensador, mayor será también el tiempo empleado en la descarga.

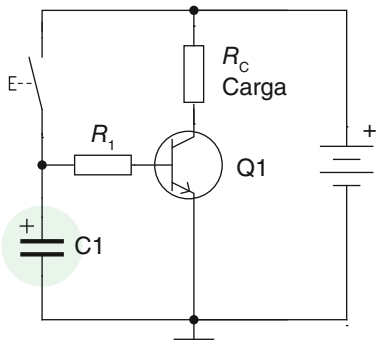



**Figura 5.36.** Circuito básico de temporización.

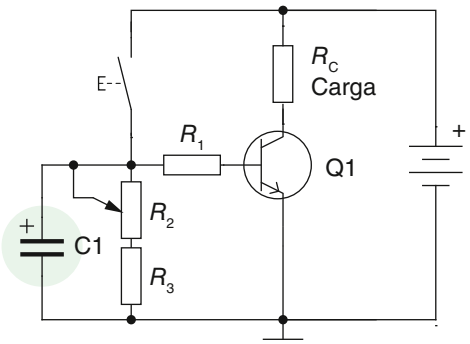



**Figura 5.37.** Circuito de temporización con control de descarga del condensador.

En el circuito de la derecha, el conjunto $R_2$ y $R_3$ permite controlar externamente la descarga del condensador, y, por tanto, el tiempo que $R_C$ está activada. El potenciómetro $R_2$ debe tener un valor de aproximadamente 1k, y la resistencia $R_3$ de unos 220 Ω. Esta resistencia tiene la misión de evitar que haya un cortocircuito cuando el pulsador está cerrado y el valor de $R_2$ es muy bajo.

### 2.1.3. Activación de relés

En numerosas ocasiones se utiliza un circuito transistorizado para activar relés electromecánicos. De esta forma, es posible controlar cargas que trabajan a diferentes valores de tensión y corriente de los del circuito que las controla. Por ejemplo, es posible activar y desactivar una carga de corriente alterna a 230 V, con un circuito gestionado por la tensión de una pila de 9 V.

## Recuerda

Las bobinas de los relés tienen un valor de impedancia en ohmios, que es necesario utilizar para calcular el valor de la resistencia de polarización del transistor. Por ejemplo, 280 Ω.

Como ya se estudió en la unidad anterior, la activación (y especialmente el corte de cargas inductivas, como bobinas o solenoides) produce picos de sobretensión que pueden destruir los circuitos de control, que en este caso es el transistor. Por este motivo, siempre que un transistor se utilice como elemento de control para activar y desactivar la bobina de un relé, se debe conectar un diodo volante paralelo a ella.

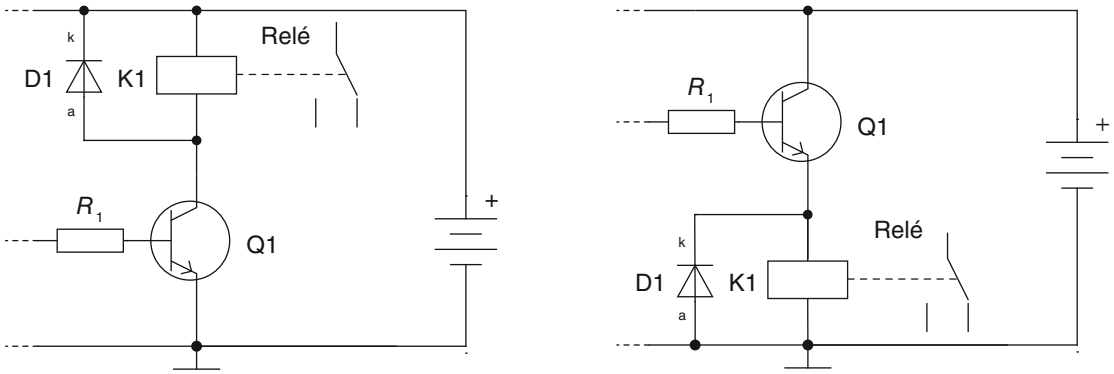



**Figura 5.38.** Conexión de un relé al colector o al emisor de un transistor.

## Saber más

Además del diodo de protección, es habitual poner un LED, con su resistencia de polarización, en paralelo con la bobina del relé. Esto permite conocer visualmente cuándo el relé está activado o desactivado.

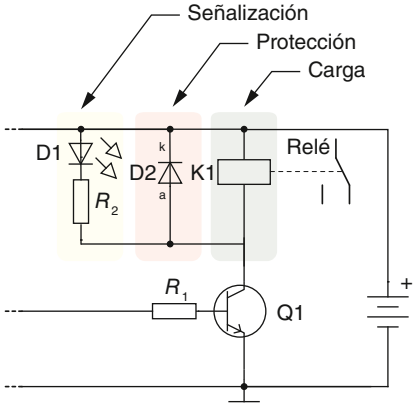



**Figura 5.39.** Indicador LED de activación del relé.

Habitualmente, la bobina del relé se conecta en el colector del transistor que actúa como interruptor, pero su uso en el emisor, como muestra la figura de la derecha, también es válido.

## 2.2. Circuito de polarización en el emisor

El circuito de polarización directa, que se ha utilizado hasta el momento, es ideal para circuitos de conmutación que hacen trabajar al transistor en corte y saturación.

Sin embargo, esta configuración es muy inestable trabajando en la zona activa, ya que si se modifica la temperatura del transistor o la corriente de la base, lo hace también la ganancia del transistor.

Para evitar este problema, especialmente cuando el transistor trabaja en amplificación, se inserta una resistencia de polarización entre el emisor y la masa del circuito, que permite mantener estable la ganancia, y con ello equilibrar el punto de operación.

Se puede utilizar el sistema de dos fuentes mostrado en la figura, pero un circuito mejor optimizado es el que utiliza un divisor de tensión, mediante $R_1$ y $R_2$, para polarizar la base.

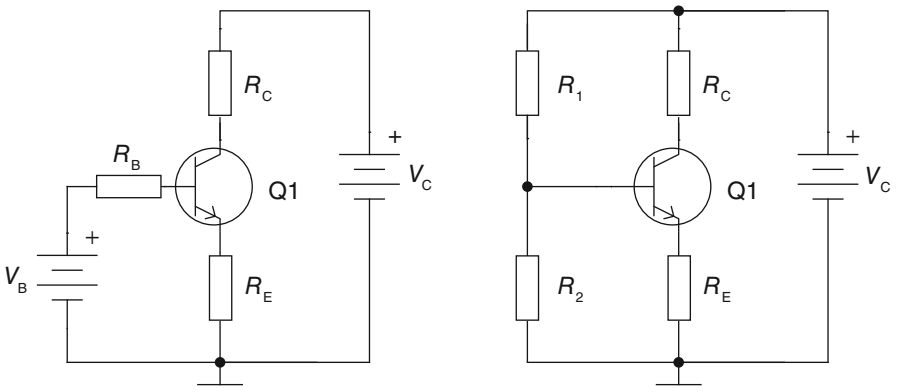



**Figura 5.40.** Circuitos de polarización universal con resistencia en el emisor.

## 2.3. Conexión *push-pull* de dos transistores BJT

La conexión *push-pull* o complementaria de dos transistores es un circuito amplificado que permite obtener una corriente eléctrica polarizada de forma positiva o negativa en su salida, en función de la señal de corriente aplicada en su entrada.

Esta configuración es muy utiliza en circuitos de amplificación de audio y en electrónica digital.

En el caso de los circuitos de transistores bipolares, es necesario utilizar dos transistores complementarios y de similares características: uno PNP y otro NPN conectados, como se muestra en la figura. De esta forma, cuando la señal de entrada es sinusoidal, el transistor NPN deja pasar los semiciclos positivos, y el PNP los negativos.

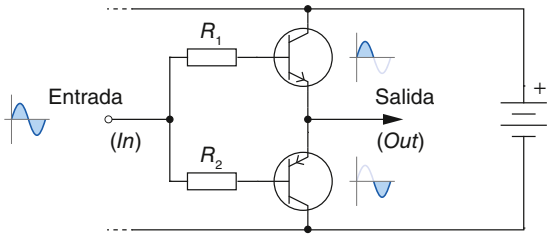



**Figura 5.41.** Amplificación *push-pull*.

De igual forma, si la señal aplicada a la entrada *(in)* del circuito es un valor analógico de corriente continua, en función de que dicha señal sea más positiva o más negativa, en la salida se obtiene también un valor positivo o negativo, pudiendo ser utilizada como detector de polaridad. En el circuito de la figura, el valor positivo o negativo de la entrada se modifica actuando sobre el potenciómetro $R_5$.

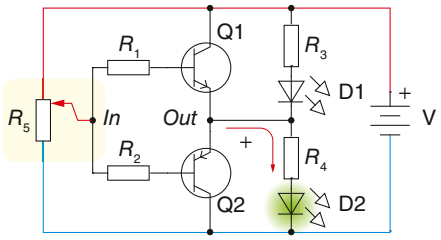



**Figura 5.42.** Valor positivo en la salida *push-pull*.

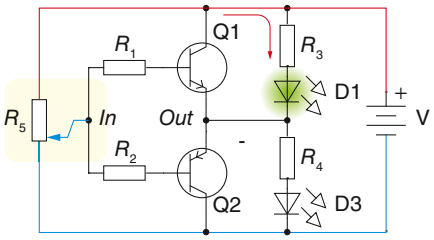



**Figura 5.43.** Valor negativo en la salida *push-pull*.

## Actividades

**3.** Utilizando un simulador de electrónica, dibuja el circuito de dos transistores conectados en *push- pull* mostrado en la figura y observa lo que ocurre con los diodos LED cuando se varía el valor del potenciómetro.

Conecta dos voltímetros en paralelo con los conjuntos LED-Resistencia de la salida y comprueba los valores de tensión en ambos cuando se actúa sobre el potenciómetro.

Lista de componentes:

- Q1: BC547
- Q2: BC557
- D1, D2: LED rojo
- $R_1$, $R_2$: 10k
- $R_3$, $R_4$: 1k
- $R_5$: potenciómetro 10k

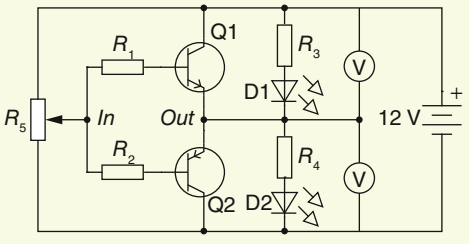



**Figura 5.44.** Circuito *push-pull* para simular.

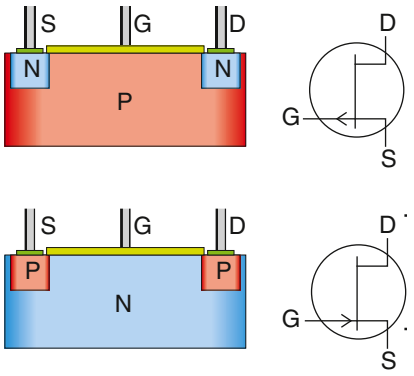



**Figura 5.45.** Estructura y símbolo del transistor FET de canal N.

# 3. El transistor de efecto de campo

Más conocido como transistor FET *(field effect transistor)* o JFET, es un transistor de tipo unipolar que controla el movimiento de cargas en su interior mediante un campo eléctrico, o, lo que es lo mismo, mediante una fuente de tensión. Dispone de tres terminales o patillas, denominados puerta *(gate)*, drenador *(drain)* y fuente o surtidor *(source)*. Se puede decir que la puerta G, en los transistores FET, es el equivalente a la base de los transistores BJT, y que el drenador D y la fuente S son comparables al emisor y al colector.

Los transistores FET tienen algunas ventajas si se comparan con los BJT: alta impedancia de entrada, menor nivel de ruido, mayor estabilidad ante cambios de temperatura, baja potencia de consumo, fácil fabricación, y, sobre todo, que se controla en tensión y no en corriente como lo son los BJT, lo que facilita el diseño de su circuito.

En función de la disposición del material semiconductor, los transistores de efecto de campo pueden ser de canal P o canal N.

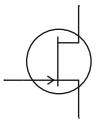
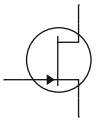
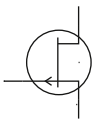
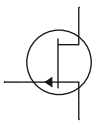
| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Transistor FET de canal N |  |  | Q |
| Transistor FET de canal P |  |  | Q |

**Tabla 5.5.** Transistores FET.

## 3.1. Polarización de los transistores FET

Desde punto de vista de diseño de circuitos, la principal ventaja de un FET respecto a un transistor bipolar es que la puerta G se controla en tensión y no en corriente, por lo que no se necesitan etapas previas de control. El transistor FET se comporta como una resistencia variable controlada con la tensión negativa aplicada en su puerta G. Así, cuanto mayor es el valor de dicha tensión negativa, mayor es la resistencia entre los terminales S y D, y, por tanto, menor es la corriente de la carga. Sin embargo, si el valor de tensión en la puerta es de 0 V, o próximo a él, el valor resistivo entre S y D se hace menor y, por tanto, el transistor permite mayor paso de corriente.

A continuación, se muestran dos circuitos de polarización de los transistores FET de canales N y P con dos fuentes de tensión.

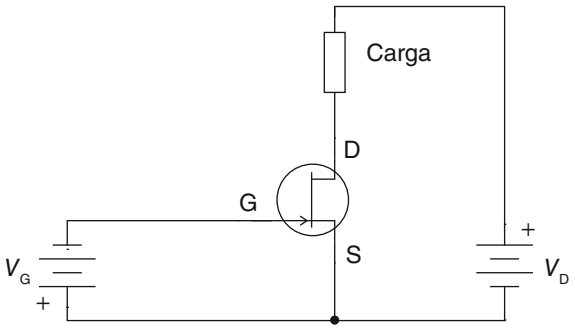



**Figura 5.46.** Polarización de un FET canal N.

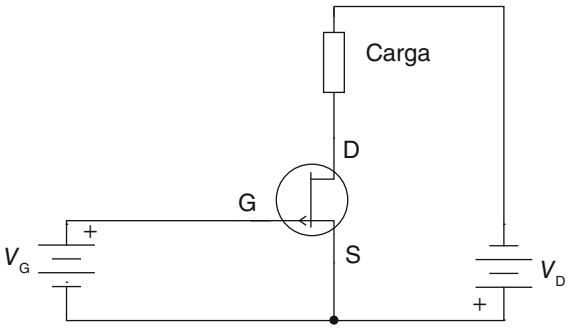



**Figura 5.47.** Polarización de un FET canal P.

## 3.2. El transistor MOSFET

Una variante de los transistores FET es el denominado **MOSFET** *(metal oxide semiconductor field effect transistor)*, mucho más utilizado en la actualidad y, por tanto, de mayor interés práctico. En él, la puerta G dispone de una película de óxido entre el metal y el semiconductor, que se comporta como un condensador, haciendo que la capacidad de entrada sea muy alta. De igual forma que los transistores FET, la puerta se controla por tensión y no por corriente, como ocurre con los BJT.

El transistor MOSFET dispone de cuatro capas de material semiconductor, pero dos de ellas, el sustrato y la fuente, están unidas internamente.A efectos prácticos, estos transistores también disponen de tres patillas de conexión (S, G, D).

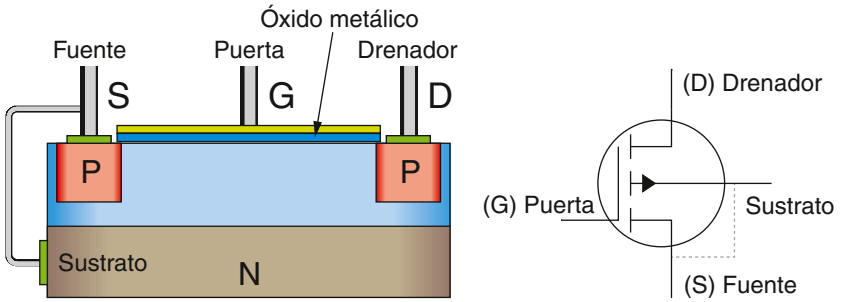



**Figura 5.48.** Estructura del transistor MOSFET.

Existen dos tipos de transistores MOSFET, los de enriquecimiento (o acumulación) y los de empobrecimiento (o deplexión). Su diferencia se encuentra en cómo se mueven las cargas entre las diferentes partes del semiconductor. Los de enriquecimiento son los mayormente utilizados, quedando los de empobrecimiento relegados a aplicaciones muy específicas. De igual forma que otros tipos de transistores, existen MOSFET de canal N y canal P.

Hay que tener en cuenta que en los MOSFET de canal N, a diferencia de los FET del mismo tipo, la tensión de la puerta es de valor positivo.

Los símbolos de los transistores MOSFET son los siguientes:

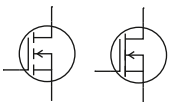
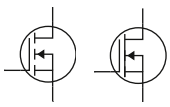
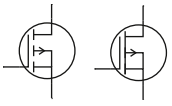
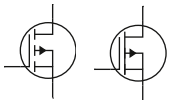
| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Transistor MOSFET de canal N (Izq.: enriquecimiento. Dcha.: empobrecimiento) |  |  | Q |
| Transistor MOSFET de canal P (Izq.: enriquecimiento. Dcha.: empobrecimiento) |  |  | Q |

**Tabla 5.6.** Transistores MOSFET.

### 3.2.1. Polarización de los transistores MOSFET

El circuito de polarización de un transistor MOSFET es mucho más simple que el de un transistor BJT, ya que el control de la puerta G se hace por tensión, y, por tanto, no es necesario diseñar un circuito de ajuste de corriente como ocurre con los de tipo bipolar. En este caso, se puede conectar directamente al positivo de la fuente de tensión en el caso de los MOSFET de canal N, y al negativo en el caso de los de canal P.

## Saber más

### En tu profesión

La fina capa de óxido metálico se puede destruir fácilmente con la simple electricidad estática de nuestros dedos, por lo que es recomendable usar una pulsera antiestática conectada a tierra cuando se trabaja con este tipo de componentes electrónicos.

**Figura 5.49.** Pulsara antiestática (cortesía Bang good.com).

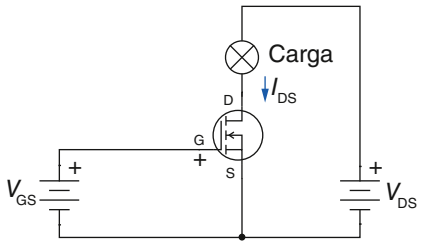



**Figura 5.50.** Polarización de un MOSFET canal N.

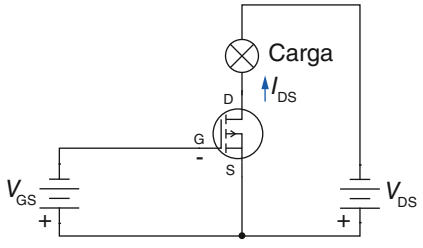



**Figura 5.51.** Polarización de un MOSFET canal P.

## Recuerda

Los transistores MOSFET son más estables a la temperatura que los BJT, no obstante, también necesitan ser instalados sobre disipadores de calor para evitar que se destruyan.

El consumo de corriente del terminal G es prácticamente despreciable.

### 3.2.2. Características eléctricas de los transistores MOSFET

Estas son algunas de las características más significativas que aparecen en las *data sheets* de los transistores MOSFET:

- **Tensión máxima $V_{DS}$**: es la tensión máxima con la que puede trabajar la carga conectada al transistor.
- **Tensión máxima de puerta $V_{GS}$**: es la tensión máxima que se puede aplicar a la puerta G. Por ejemplo: ±20 V.

  Es importante que la alimentación de G no supere la tensión que indica el fabricante, ya que de lo contrario el transistor podría destruirse.
- **Tensión de umbral $V_{GS(TH)}$**: es la tensión en voltios con la que se dispara el terminal de puerta y, por tanto, cuando se alcanza y se supera dicha tensión, el transistor pasa al estado de conducción. También se conoce con su denominación en inglés: *threshold voltage*.
- **Corriente $I_D$**: es la corriente máxima de la carga que se puede conectar al drenador (D) de MOSFET.
- **Resistencia en conducción entre el drenador (D) y la fuente (S) $R_{SD(on)}$**: es la resistencia que se presenta entre los terminales del surtidor y la puerta cuando el transistor está en conducción (saturación). Dicho valor debe ser muy pequeño, del orden de los miliohmios (mΩ).

### 3.2.3. Formas o zonas de trabajo de los transistores MOSFET

El transistor MOSFET dispone de tres zonas de trabajo, que se describen brevemente a continuación. Para ello, se ha tomado como ejemplo un transistor MOSFET de acumulación de canal N.

**Zona óhmica:** también denominada zona lineal o región triodo. En ella el transistor se comporta como una resistencia variable dependiente del valor de tensión de la puerta $V_{GS}$. Cuanto mayor es el valor de la tensión en la puerta G, menor es el valor óhmico, y viceversa. Cuando la tensión en el terminal G llega a la tensión de umbral $V_{TH}$, la resistencia entre los terminales G y D es casi despreciable y, por tanto, el transistor se comporta como un contacto cerrado.

**Zona de corte:** se trabaja en esta región cuando la tensión de puerta es inferior a la tensión umbral $V_{TH}$. En el caso, las patillas D y S se comportan como una resistencia de valor muy elevado, que puede variar, según el modelo de transistor, entre los 500 MΩ y 2 GΩ, teniendo el mismo efecto que el interruptor abierto.

**Zona de saturación:** cuando el transistor entra en esta zona se comporta como una fuente de corriente y se utiliza para amplificar. Esta zona es el equivalente a la zona activa del transistor BJT.

De igual forma que el transistor BJT, los transistores MOSFET disponen de una gráfica de salida, en la que se muestra el comportamiento de la corriente del drenador en función de la tensión entre drenador y surtidor $V_{DS}$, para diferentes valores fijos de la tensión en puerta $V_G$.

Es importante no equivocar las zonas de trabajo del transistor BJT con las del transistor MOSFET, ya que las zonas de saturación y activa en el primero son las equivalentes, en este orden, a las zonas óhmicas y de saturación del segundo.

De igual forma que con los transistores BJT, la curva característica de salida que dan los fabricantes en su hoja de características, permite conocer cómo se comporta un MOSFET en las diferentes zonas de trabajo, en función del valor $V_{GS}$ aplicado en su puerta.

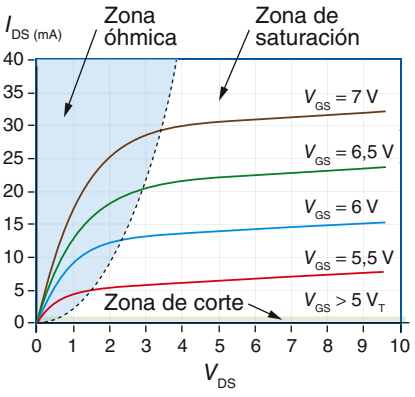



**Figura 5.52.** Ejemplo de curva característica de salida de un transistor MOSFET.

# 4. Circuitos prácticos con MOSFET

De igual forma que los transistores BJT, los transistores de efecto de campo FET y MOSFET pueden ser utilizados como amplificadores o como interruptores.

A continuación, se muestran algunos circuitos básicos para practicar.

## 4.1. El MOSFET como interruptor

Supóngase un circuito como el de la figura en el que se desea controlar una carga, como puede ser una pequeña lámpara incandescente o un diodo LED, en el que, para mejor comprensión del funcionamiento, se han utilizado dos fuentes independientes.

La puerta G está controlada por una fuente de tensión de 5 V, ya que se sabe que la tensión de umbral o de disparo es de 4 V. El circuito de la carga está alimentado por una fuente de 12 V.

1. El pulsador se encuentra normalmente abierto y, por tanto, no se ha cebado la puerta del MOSFET. En esta situación, los terminales G y S se comportan como una resistencia de valor óhmico elevado (del orden de los GΩ), cuyo comportamiento es similar a un contacto eléctrico abierto, no dejando pasar corriente a través del drenador (D) y, por tanto, manteniendo apagada la lámpara.
2. Si, por el contrario, la puerta G se conecta temporalmente al polo positivo de la fuente de alimentación, y la tensión que llega a esta patilla supera la tensión de umbral de disparo ($V_{GS(TH)}$), el transistor se pone a trabajar en la zona óhmica, siendo el valor resistivo entre D y S tan pequeño que se comporta como un contacto cerrado, y, por tanto, dejando pasar la corriente por el drenador y activando así la carga.

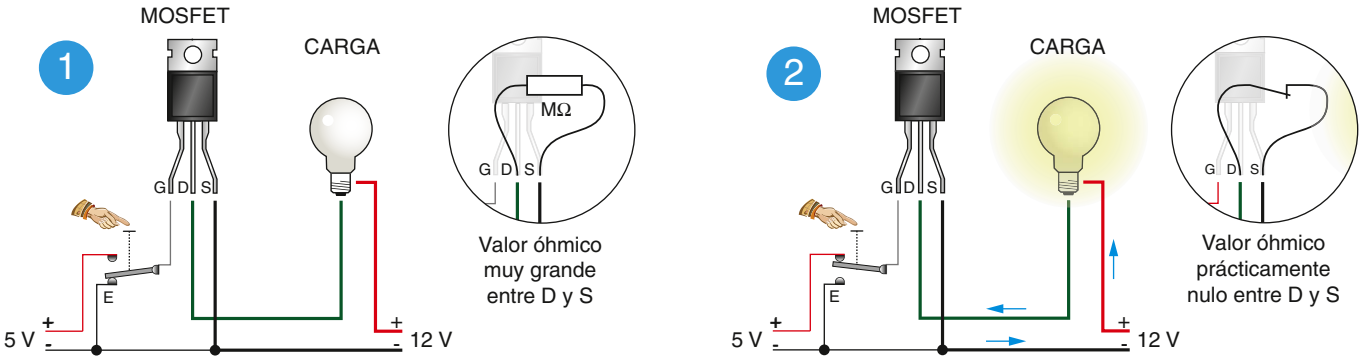



**Figura 5.53.** Transistor MOSFET trabajando en zona óhmica (abierto) y en saturación (cerrado).

3. Si una vez que se ha «cebado» el MOSFET se deja de aplicar el positivo de la alimentación sobre la puerta, se observa que la lámpara continúa encendida a pesar de que en la patilla G no existe señal de activación. Esto es debido al efecto capacitivo que ejerce el aislante de óxido metálico que hay en el terminal de puerta G, ya que al comportarse como un condensador, que en este caso se encuentra cargado, mantiene activo el transistor y, por tanto, también la carga.
4. Para que el transistor se «descebe» es necesario bajar la señal de la puerta G de los valores de umbral que recomienda el fabricante. En este caso, con poner la señal a la masa de la alimentación, se obtienen 0 V en este terminal, descargando el condensador de entrada y desactivando así la lámpara.

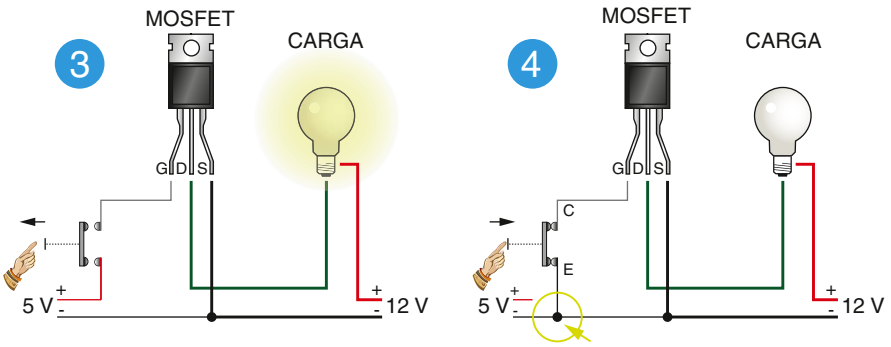



**Figura 5.54.** Descebado del transistor MOSFET.

La descarga del transistor se puede hacer de forma automática utilizando un conmutador en lugar de un pulsador, de forma que en una de las posiciones el conmutador conecte la puerta G al positivo y en la otra al negativo.

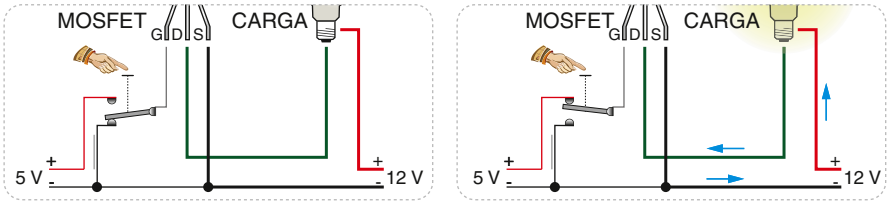



**Figura 5.55.** Cebado y descebado de una carga con conmutador.

Otra solución más eficiente consiste en colocar una resistencia de un valor elevado (por ejemplo, 100k) entre el negativo de la fuente y el terminal G. Así, si el pulsador está abierto, el terminal G tiene como referencia la masa (0 V) de la alimentación, descebando el transistor. Debido al valor elevado de esta resistencia, su uso no interfiere para aplicar la señal positiva en el terminal G cuando dicha señal está presente.

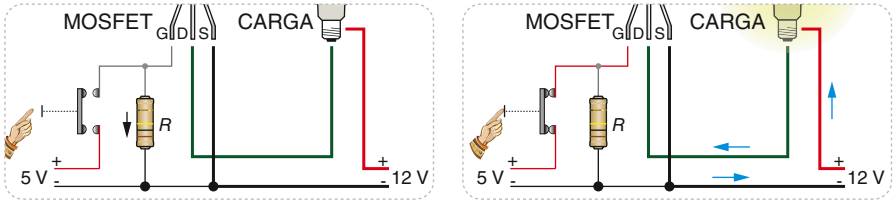



**Figura 5.56.** Descebado por resistencia.

## Actividades

**4.** En un programa de simulación electrónica, dibuja el circuito de la figura y comprueba el funcionamiento de un transistor MOSFET como interruptor. En este caso, la acción sobre el pulsador $S_1$ permite cebar el transistor y, por tanto, encender el LED, y la acción sobre $S_2$ descargar el transistor y así apagar LED.

**5.** Sustituye el pulsador $S_2$ por una resistencia de 100k, comprueba el funcionamiento del circuito y contesta a las siguientes preguntas:

a) ¿Cuándo se enciende el LED?

b) ¿Cómo se apaga?

c) ¿Cuál es la misión de la $R_2$ en el circuito?

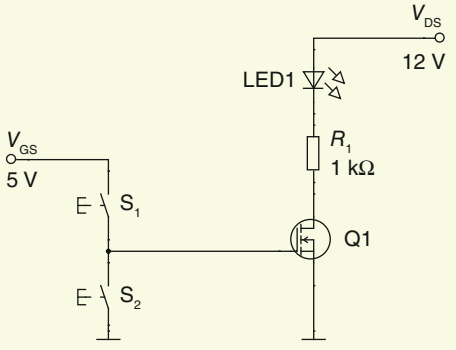



**Figura 5.57.** Esquema de actividades.

### 4.1.1. Activación de relés con MOSFET

En una etapa de potencia con MOSFET de canal N, la bobina del relé se conecta entre el drenador (D) y el positivo de la fuente de tensión. De igual forma que cuando se emplea otro tipo de transistor para controlar componentes inductivos, es necesario utilizar un diodo volante en paralelo con la bobina, para evitar que las sobretensiones por la desconexión dañen el transistor.

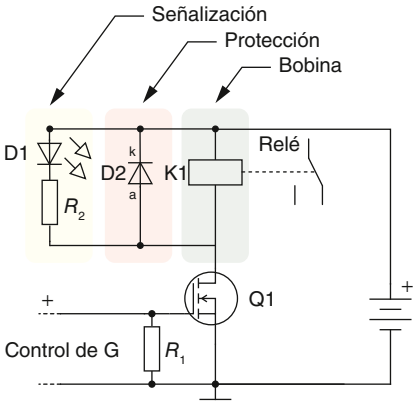



**Figura 5.58.** Activación de un relé con un MOSFET de canal N.

### 4.1.2. El MOSFET como interruptor con divisor de tensión

Hasta el momento, se ha visto que el control del terminal de puerta G se hacía con una fuente de alimentación diferente a la que se utiliza para controlar la carga. Si bien esto es especialmente útil cuando se desea crear etapas de potencia, controladas por circuitos que funcionan a tensiones reducidas, en ocasiones lo más práctico es utilizar una única fuente de tensión, tanto para la carga como para el control de puerta. En este caso, es necesario adaptar la tensión de la fuente a la tensión de umbral de la puerta G.

Si el MOSFET trabaja en modo interruptor, se puede aplicar la tensión utilizada para la carga siempre que no supere la tensión máxima de puerta $V_{GSO}$ recomendada por el fabricante. Sin embargo, si la tensión para controlar la carga es superior a la de la puerta, es necesario utilizar un circuito de adaptación, como puede ser un divisor de tensión con dos resistencias, como se muestra en la figura.

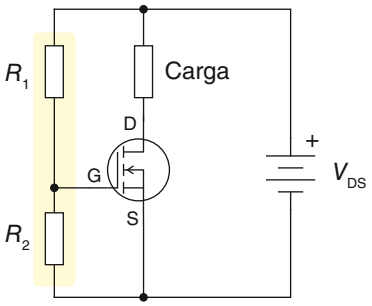



**Figura 5.60.** Control de tensión de puerta con divisor de tensión.

El divisor de tensión se hace especialmente importante cuando el transistor trabaja como amplificador de corriente en la zona de saturación.

### 4.1.3. Protección contra sobretensiones en el terminal de puerta

Como ya se ha dicho anteriormente, un MOSFET se daña si se supera el valor máximo de tensión en puerta $V_{GS}$ que refleja el fabricante en la hoja de características. Una forma de evitar que una sobretensión en puerta lo pueda destruir, consiste en poner un diodo Zener, con su respectiva resistencia de polarización, conectado entre el terminal de puerta y el negativo, en el caso de los MOSFET de canal N, y, entre el terminal de puerta y positivo, en el caso de los de canal P.

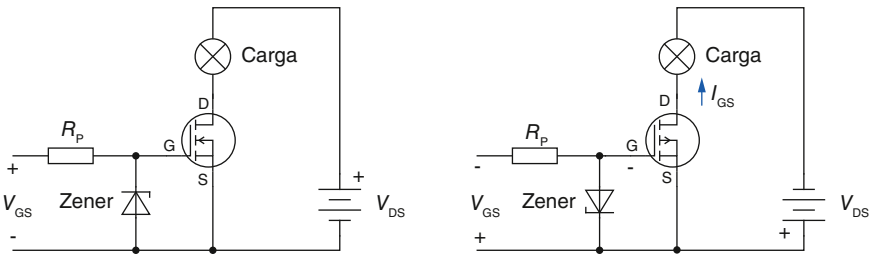



**Figura 5.61.** Protección de sobretensión en el terminal de puerta en MOSFET de canal N y canal P.

## Recuerda

La relación de tensiones en un divisor de tensión resistivo es:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{in}$$

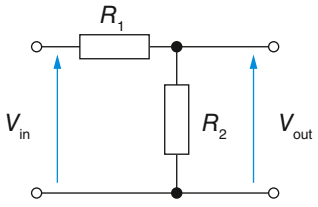



**Figura 5.59.** Divisor de tensión.

## Saber más

### Un ejemplo

Si la tensión máxima indicada por el fabricante para $V_{GS}$ es de 20 V, se puede poner un Zener que limite la tensión a 18 o 19 V. De esta forma, aunque aumente peligrosamente la tensión de la alimentación, el terminal de puerta siempre estará protegido.

## Vocabulary

- Divisor de tensión: *voltage divider*.
- Unión: *junction*.
- Emisor: *emitter*.
- Colector: *collector*.
- Flujo: *flow*.
- Estado sólido: *solid state*.
- Dispositivo: *device*.
- Flujo de corriente: *current flow*.
- Cátodo: *cathodo*.
- Ánodo: *anode*.
- Polarización: *bias*.
- Polarización inversa: *reverse bias*.
- Polarización directa: *forward bias*.
- Alcanzar: *to achieve*.
- Efecto de campo: *field effect*.
- Puerta: *gate*.
- Drenador: *drain*.
- Fuente: *source*.
- Amplificador: *amplifier*.
- Interruptor: *switch*.
- Comprobación: *testing*.
- Resolución de problemas: *troubleshooting*.
- Señal de entrada: *input signal*.
- Señal de salida: *output signal*.

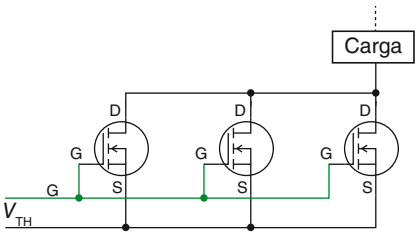



**Figura 5.68.** MOSFET en paralelo.

### 4.1.4. El MOSFET en *push-pull*

Los transistores MOSFET también se pueden utilizar para trabajar en modo complementario o *push-pull*. Para ello, son necesarios dos transistores de similares características técnicas, pero de diferente canal (P y N).

La conexión puede hacerse de dos formas, bien con terminales del drenador de ambos transistores conectados a la salida o bien uniendo de la misma forma los terminales de la fuente.

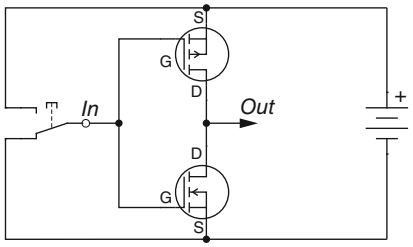



**Figura 5.62.** *Push-pull* en drenador común.

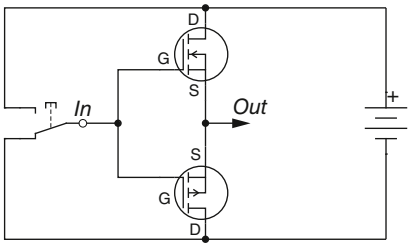



**Figura 5.63.** *Push-pull* en fuente común.

En el caso del circuito de salida con drenador (D) común, al aplicar un valor negativo a la entrada, el transistor Q1 conduce y el Q2 no, por lo que a la salida se obtiene un valor positivo o alto. Por el contrario, si se aplica un valor positivo a la entrada, en este caso es el Q2 el que conduce y Q1 el que en corte, por lo que en la salida hay un valor negativo o bajo.

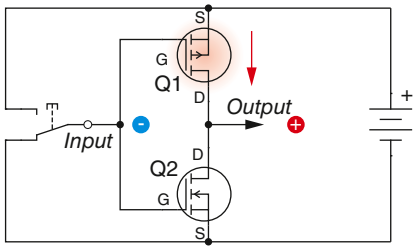



**Figura 5.64.** *Push-pull* en drenador común.

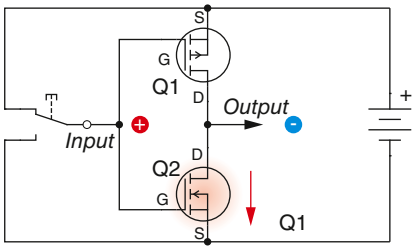



**Figura 5.65.** *Push-pull* en fuente común.

En el caso del circuito de salida con fuente (S) común, al aplicar un valor negativo a la entrada, el transistor Q2 conduce y Q1 se queda en corte, por lo que a la salida se obtiene un valor negativo o bajo. De igual forma, si se aplica un valor positivo a la entrada, Q1 es el que entra en conducción y Q2 en corte, dando un valor alto o positivo en la salida.

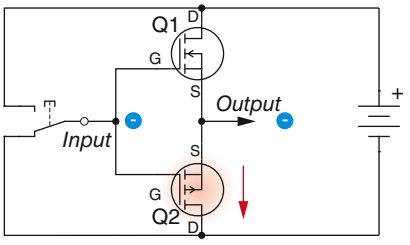



**Figura 5.66.** *Push-pull* en drenador común.

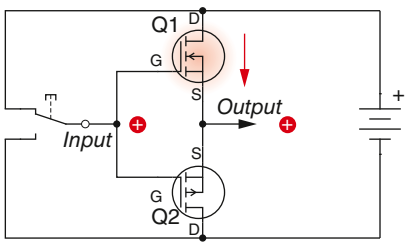



**Figura 5.67.** *Push-pull* en fuente común.

### 4.1.5. MOSFET en paralelo

Una ventaja de los transistores MOSFET respecto a los BJT es que se pueden conectar en paralelo y así aumentar el valor de corriente de la carga a controlar. La conexión es sencilla, ya que simplemente hay que unir todas las patillas del mismo tipo y utilizarlas como si de un solo transistor se tratase. Para realizar esta conexión, todos los transistores deben ser exactamente iguales.

# 5. Otros tipos de transistores

## 5.1. El transistor uniunión

También conocido como transistor UJT *(union junction transistor),* es un transistor utilizado para realizar circuitos de oscilación, generadores de onda y temporizadores, con especial importancia en el control de dispositivos de potencia como los tiristores o triac, mediante un circuito de conmutación denominado «oscilador de relajación».

El transistor UJT tiene tres terminales, un emisor E y dos bases B1 y B2. Su circuito equivalente es el que se muestra al margen.

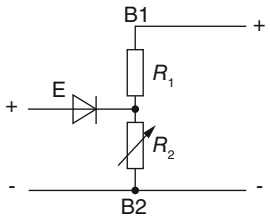



**Figura 5.69.** Circuito equivalente.

La unión entre las dos bases se comporta como una resistencia de valor fijo, que puede medirse con el multímetro. Cuando se aplica una tensión entre el emisor E y la base B2, el diodo se polariza en directa. Si la tensión es baja, el diodo no conduce.

Sin embargo, si se supera la tensión de umbral, el diodo entra en conducción, circulado corriente entre el emisor E y la base B2, disminuyendo así el valor resistivo de la resistencia $R_2$, y disminuyendo también la tensión en el cátodo del diodo. Esto hace que su polarización sea mayor, mejorando su conducción y, por consiguiente, bajando nuevamente el valor resistivo de $R_2$.

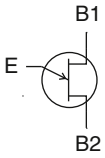



**Figura 5.70.** Símbolo del transistor UJT.

Se puede decir que un transistor UJT es un interruptor controlado por tensión, que presenta un valor resistivo muy alto cuando está abierto y un valor resistivo muy bajo cuando está cerrado.

## 5.2. El transistor IGBT

Es un transistor formado por una etapa de potencia basada en un transistor bipolar BJT y una entrada de control basado en la estructura MOS. Se puede decir que un IGBT es un transistor híbrido, que toma lo mejor de la tecnología BJT y CMOS. Debe su nombre a las iniciales de su denominación en inglés: *insulated gate bipolar transistor.*

Como se puede ver en el esquema de su circuito equivalente, el transistor IGBT es una mezcla de uso de un MOSFET y un BJT. Dispone de tres terminales: puerta G, colector C y emisor E, por lo que se puede decir que es un transistor bipolar controlado por tensión, ya que, cuando se supera la tensión de umbral de la puerta, se establece el paso de corriente entra el colector y el emisor.

Este tipo de transistor se utiliza para controlar cargas de gran potencia, con altas tensiones, por lo que son muy utilizados en electrónica de potencia para el control de máquinas eléctricas, sistemas SAI, electrodomésticos de potencia, etc.

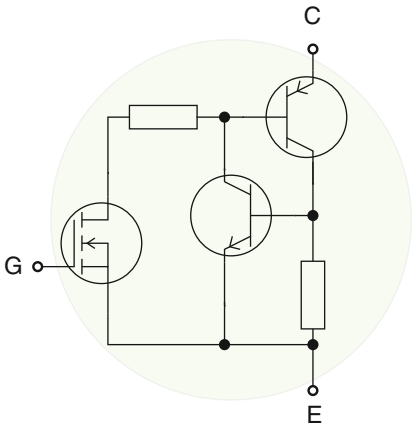



**Figura 5.71.** Circuito equivalente de un transistor IGBT

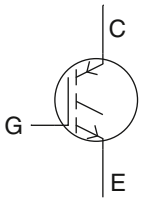
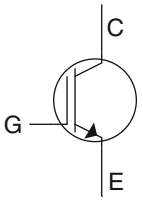
| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Transistor IGBT |   |   | Q |

**Tabla 5.7.** Transistores IGTB.

# PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA

## Herramientas

- Polímetro con toma para comprobar $h_{FE}$ de transistores

## Material

- Un transistor NPN (BC547)
- Un transistor PNP (BC557)

# Comprobación de un transistor BJT con polímetro

## Objetivo

Utilizar el polímetro para probar transistores BJT.

## Precauciones

- Se debe conocer el tipo de transistor que se va a comprobar (PNP o NPN) y cuál es la disposición de sus patillas. Se recomienda tener la hoja de características del transistor a mano para hacer esta comprobación.
- El transistor no debe estar montado en ningún circuito.

## Desarrollo

### Comprobación de la continuidad de un transistor

A efectos de comprobación, un transistor se comporta como dos diodos conectados en un punto común, que sería el equivalente al terminal de la base. Así, la comprobación con el polímetro se hace como si de diodos individuales se tratase. Es decir, que, si el diodo se polariza de forma directa con las puntas de prueba del polímetro, hay continuidad entre los terminales. Por contra, si se polariza de forma inversa, no la hay.

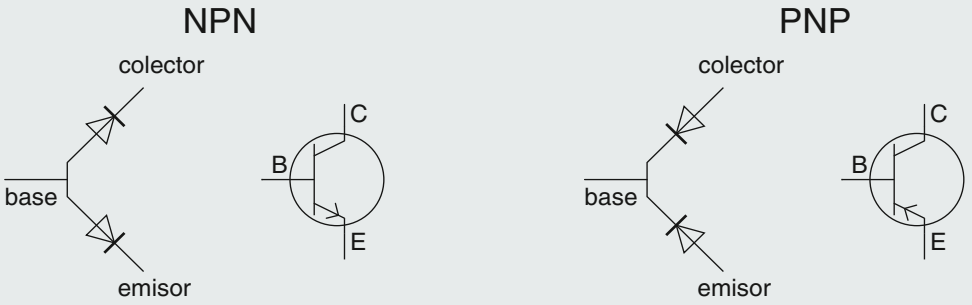



**Figura 5.72.** Circuito equivalente, a efectos de comprobación, de los dos tipos de transistores.

1. Localiza el emisor, la base y el colector del transistor que vas a utilizar. Aquí se ha tomado como ejemplo un transistor BC547 que es de tipo NPN, pero otros modelos, incluso con el mismo tipo de cápsula, pueden tener otra disposición de las patillas.

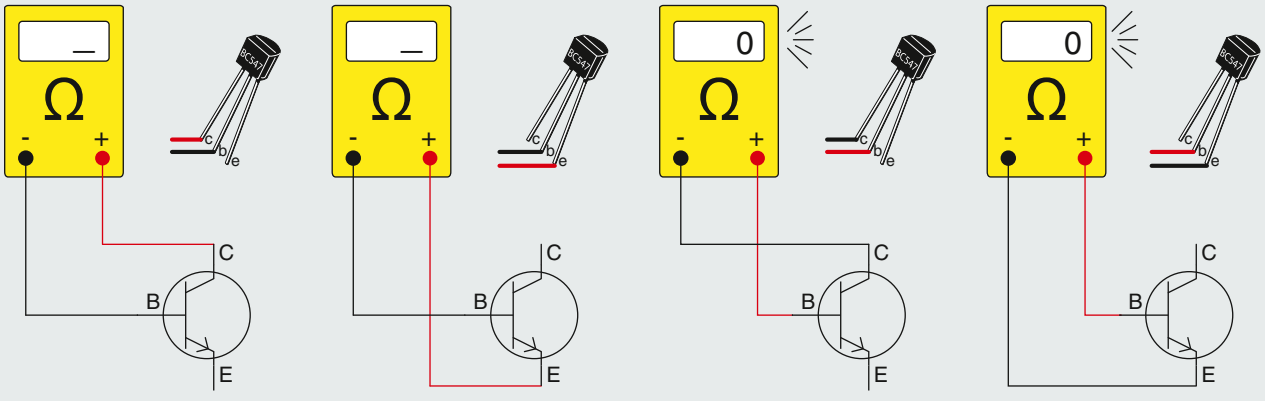



**Figura 5.73.** Comprobación de un transistor NPN modelo BC547.

2. La comprobación de un transistor pasa por hacer las cuatro medidas mostradas en la figura. En dos de ellas, las representadas a la derecha, debe marcar continuidad, y en la otras dos no. Si esto no es así, el transistor puede estar defectuoso.
3. De igual forma, se debe proceder para comprobar un transistor PNP. En este caso, la polarización es la contraria al transistor NPN y, por tanto, el resultado de la comprobación también lo es. El modelo de transistor elegido en el ejemplo es el BC557.

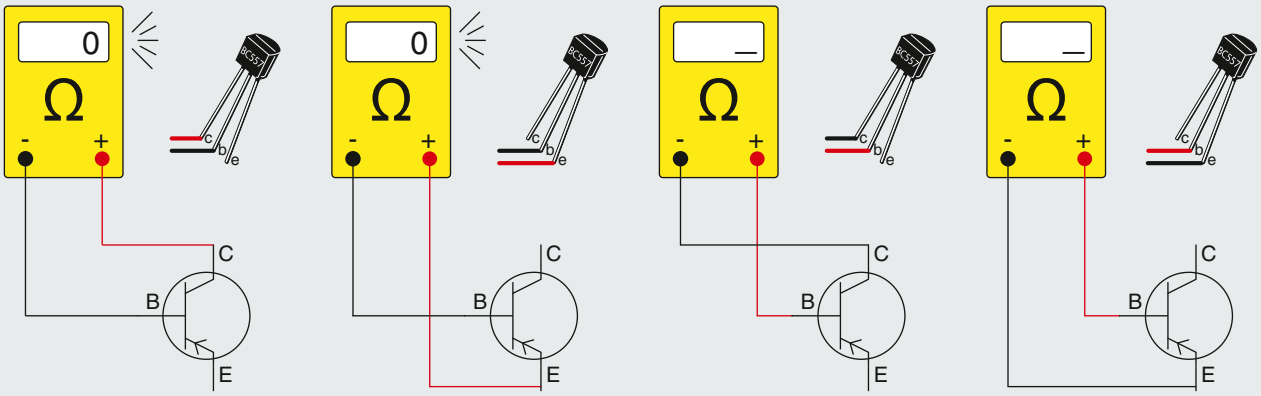



**Figura 5.74.** Comprobación de un transistor PNP modelo BC557.

## Comprobación de la ganancia de un transistor con el polímetro

Esta comprobación permite conocer si la ganancia de un transistor o $h_{FE}$ es la que se indica en la hoja de características y, por tanto, el transistor funciona correctamente. Para ello se debe hacer lo siguiente:

4. Se identifican cuáles son las patillas del transistor y su polaridad (PNP o NPN).
5. Se conmuta el selector del polímetro en el modo $h_{FE}$.
6. Se insertan las patillas en el zócalo del polímetro en el orden correcto.
7. El valor de la ganancia debe estar próximo al indicado en la hoja de características; si no es así, el transistor está mal o no es fiable.

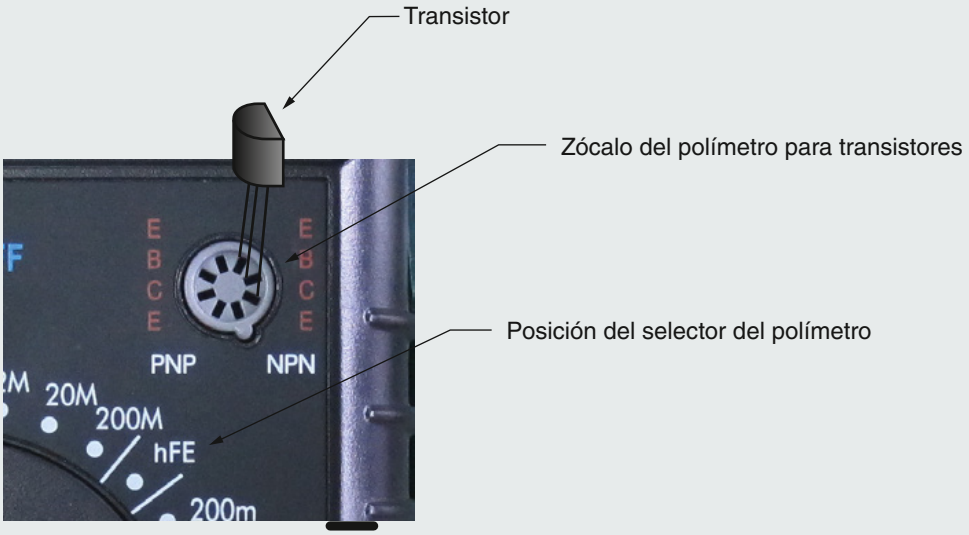



**Figura 5.75.** Comprobación de hFE de un transistor NPN con polímetro.

# TEST DE EVALUACIÓN

RESUELVE EN TU CUADERNO O BLOC DE NOTAS

1. **¿Cómo se denominan los terminales de un transistor BJT?**
   a) Base, emisor y colector.
   b) Fase, neutro y toma de tierra.
   c) Puerta, drenador y surtidor.
   d) Positivo, negativo y masa.

2. **¿Con qué letra se identifican los transistores en los esquemas?**
   a) T.
   b) D.
   c) Q.
   d) M.

3. **La relación de corrientes en un transistor es:**
   a) $I_B = I_C + I_E$
   b) $I_E = I_C + I_B$
   c) $I_C = I_B + I_E$
   d) $I_E = I_C = I_B$

4. **La ganancia de un transistor es:**
   a) La tensión de salida en el colector.
   b) La relación entre la corriente del colector y la del emisor.
   c) La corriente de salida por la base.
   d) La relación entre la corriente del colector y la de la base.

5. **La ganancia se mide en:**
   a) No tiene unidades.
   b) Milivatios (mW).
   c) Miliamperios (mA).
   d) Voltios (V).

6. **Un transistor Darlington es:**
   a) Un transistor de tipo MOSFET.
   b) Un transistor de alta ganancia.
   c) Un fototransistor.
   d) Un transistor de efecto de campo.

7. **Los terminales de un transistor MOSFET se denominan:**
   a) Fase, emisor y colector.
   b) Fase, neutro y toma de tierra.
   c) Puerta, drenador y surtidor.
   d) Positivo, negativo y masa.

8. **En un transistor la tensión denominada $V_{TH}$ se refiere a:**
   a) La tensión máxima que puede soportar el transistor.
   b) La tensión mínima que debe haber entre D y S.
   c) La tensión máxima que se pueda aplicar al terminal G.
   d) La tensión mínima en G para que el transistor se pueda disparar.

9. **El valor óhmico entre G y S:**
   a) Es muy grande cuando el transistor no conduce.
   b) Es muy grande cuando el transistor entra en conducción.
   c) Es muy pequeño cuando el transistor no conduce.
   d) No cambia nunca cuando el transistor funciona como interruptor.

10. **¿Cuál de estos no es un tipo de transistor?**
    a) UJT.
    b) BJT.
    c) IGBT.
    d) EFT.

# ACTIVIDADES FINALES

**1.** Calcula la resistencia de polarización del transistor BC237, que se desea que trabaje como interruptor en un circuito alimentado a 12 $V_{DC}$, para controlar un relé cuya bobina (12 V) tiene una resistencia de 280 Ω. Dibuja el esquema del circuito propuesto para poder activar el relé con un pequeño pulsador y comprueba su funcionamiento en una placa de prototipos.

**2.** Basándote en el desarrollo de la práctica profesional resuelta de esta unidad, comprueba cinco transistores BJT con diferentes encapsulados, como pueden ser: 2N3055, BDX53, MC140, MC150 y SC107. ¿Cuál es la ganancia de cada uno de ellos?

**Nota:** pueden servir otros similares disponibles en tu aula-taller.

**3.** Monta los siguientes circuitos en una placa de prototipos y comprueba su funcionamiento. El LED se debe encender cuando se tocan los terminales 1 y 2 con los dedos de la mano. Explica por qué ocurre esto. ¿Qué diferencias de funcionamiento existen entre el circuito 1 y el 2?

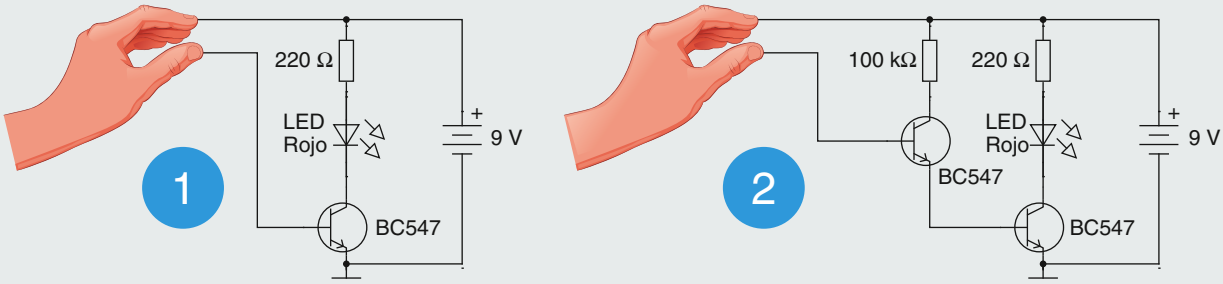
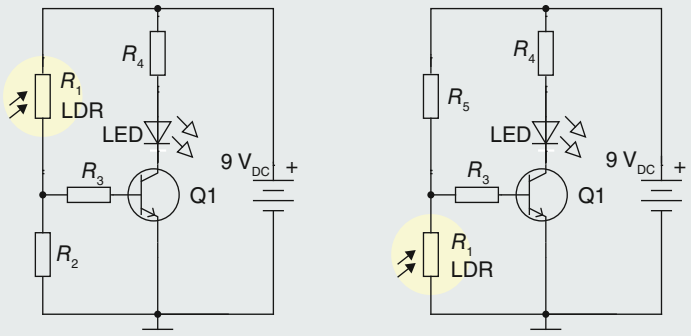



**Figura 5.76.** Sencillo interruptor táctil.

**4.** Monta en una placa de prototipos los circuitos de la figura correspondientes a dos tipos de interruptores crepusculares. ¿Qué diferencias de funcionamiento encuentras entre ambos?




Lista de componentes:

$R_1$ – LDR

$R_2$ – 1k a 4,7k

$R_3$ – 1k

$R_4$ – 680Ω

$R_5$ – 4,7k a 10k

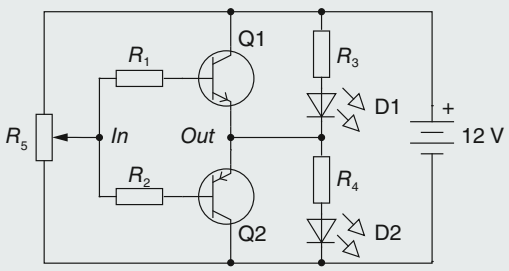
Q1– BC547

LED verde

**Figura 5.77.** Circuitos interruptores accionados por la luz.

**5.** Dibuja el esquema para arrancar un pequeño motor de corriente continua mediante alguno de los interruptores crepusculares de la actividad anterior, sabiendo que los circuitos se alimentan a 9 V y el motor trabaja con una tensión de 4,5 V.

**6.** Con un *software* de simulación electrónica, comprueba el funcionamiento del siguiente circuito de transistores BJT en conexión *push-pull*. Observa lo que ocurre con los diodos LED cuando se gira el potenciómetro a sus extremos.




$R_1$ y $R_2$: 10k

$R_3$ y $R_4$: 1k

$R_5$: potenciómetro de 10k

Q1: BC547

Q2: BC557

D1 y D2: LED de color verde.

**Figura 5.78.** Transistores en *push-pull*.

# ACTIVIDADES FINALES

**7.** Comprueba el funcionamiento del circuito de la actividad anterior sobre una placa de prototipos.

**8.** Monta sobre una placa de prototipos el circuito de la figura correspondiente a un temporizador transistorizado. Observa cómo cambia el tiempo que el LED se encuentra encendido si se actúa sobre el potenciómetro. ¿Cómo afecta al funcionamiento del circuito si se cambia el condensador electrolítico por uno de uno de 1 000 µF? ¿Y si se ponen dos en paralelo de 2 000 µF?

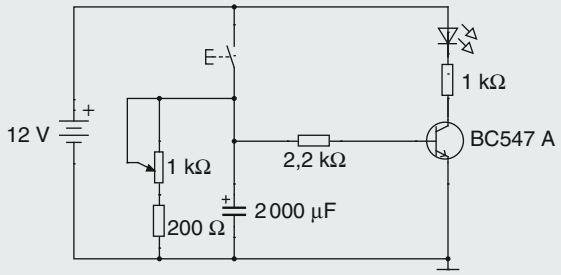



**Figura 5.79.** Circuito actividad 8.

**9.** Comprueba el funcionamiento del circuito de la actividad anterior, con algún *software* de simulación de circuitos electrónicos para ordenador, y comprueba lo que ocurre cuando se cambia el condensador por los valores anteriormente nombrados.

**10.** Monta en una placa de prototipos y comprueba el funcionamiento de los siguientes circuitos con optoacopladores. ¿Por qué la resistencia que polariza el LED del optoacoplador es de 330 Ω? ¿Qué diferencias de funcionamiento existen entre ambos circuitos? ¿Por qué?

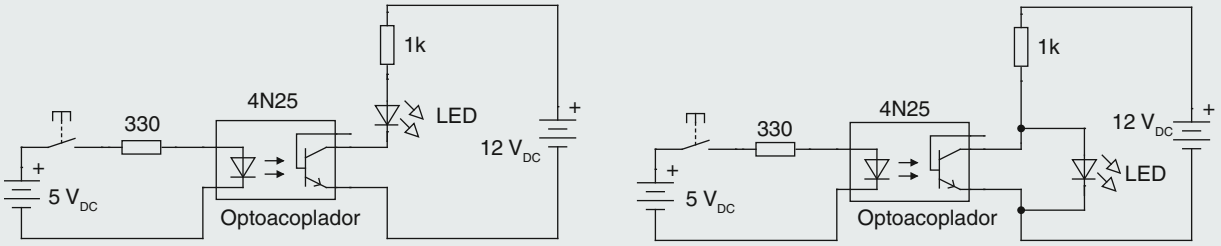



**Figura 5.80.** Circuitos con optoacopladores.

**11.** Utilizando un simulador de circuitos electrónicos, dibuja el esquema de la figura con un transistor FET de canal N. Coloca en él dos voltímetros, uno en paralelo a la carga y otro entre los terminales D y S. Inserta también un amperímetro entre la carga y el terminal D. La fuente de tensión $V_D$ debe tener un valor fijo (por ejemplo, 12 V) y la fuente $V_G$ debe tener el polo positivo conectado al terminal G y, además, debe poderse variar entre 0 V y, por ejemplo, –15 V. Realiza la simulación variando el valor de la fuente $V_G$. Anota los resultados de las medidas para seis o siete valores de $V_G$.

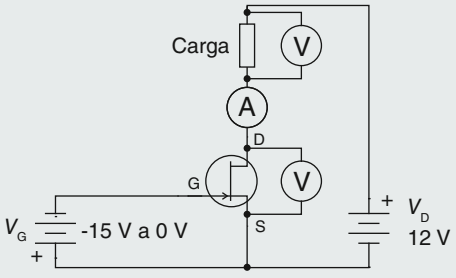



**Figura 5.81.** Circuito para simular en la actividad 11.

**12.** Entra en internet y descárgate las hojas de características de los siguientes transistores MOSFET: IRF730, IRF5305, IRFZ44N, 2N700, MTP4N80E. Anota en tu cuaderno de trabajo las características de cada uno de ellos estudiadas anteriormente. Compara los resultados con tu compañero.

# PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 1

## Herramientas

- Pinzas
- Polímetro

## Material

- Un transistor MOSFET canal N (IRL510, IRL530, IRL630...)

# Comprobación de un transistor MOSFET con polímetro

## Objetivo

Utilizar el polímetro para probar un transistor MOSFET.

## Precauciones

- Se debe conocer el tipo de transistor MOSFET que se va a comprobar (canal N o canal P) y cuál es la disposición de sus patillas, consultado su hoja de características.
- El transistor no debe estar montado en ningún circuito.
- Se deben respetar los colores de polaridad de las puntas de prueba del polímetro: rojo para positivo y negro para negativo.

## Desarrollo

La comprobación de un transistor MOSFET con un polímetro consiste en comprobar si existe o no continuidad entre los terminales del drenador (D) y la fuente (S), cuando el transistor está o no cebado. Para ello, en el proceso de comprobación es necesario activar o desactivar el MOSFET aprovechando la fuente de tensión de que dispone el propio polímetro.

1. Se descarga o desactiva el transistor cortocircuitando los terminales G y el D.
2. Se retira el puente de cortocircuito y se comprueba continuidad entre D y S, aplicando la punta de prueba roja a D y la negra a S. En esta situación, como el transistor no conduce, debe presentarse un valor óhmico muy elevado entre ambos terminales, con lo que el modo continuidad del polímetro debe indicar infinito.
3. Manteniendo el negativo del polímetro en el terminal D, se aplica durante unos segundos la punta positiva al terminal G. De esta forma, el transistor queda activado o cebado.
4. Se comprueba de nuevo el valor óhmico entre los terminales D y S, y, en esta ocasión, como el transistor se encuentra en conducción, dicho valor debe ser muy bajo, entre 600 y 300 Ω.

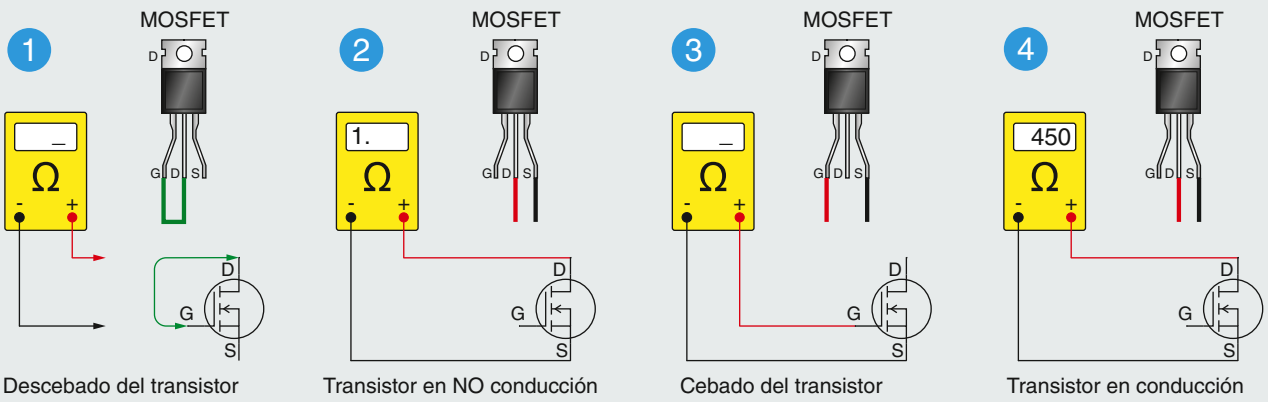



**Figura 5.82.** Proceso para comprobar un transistor MOSFET de canal N con polímetro.

5. Se repiten de nuevo los pasos 1 y 2 y se comprueba que el transistor se desceba y, por tanto, deja de conducir.
6. También es posible comprobar la continuidad entre G y cualquiera de los otros terminales, con las puntas de prueba en cualquier configuración. En este caso, el valor óhmico debe ser siempre de 0 Ω.

# PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 2

## Herramientas

- Tijeras de electricista
- Pinzas

## Material

- Fuente de alimentación de corriente continua de 12 V
- Placa de pruebas *protoboard*
- Dos pulsadores normalmente abiertos
- Una resistencia de 1000 Ω (marrón-negro-rojo)
- Una resistencia de 100 kΩ (marrón-negro-amarillo)
- Diodo LED de color rojo
- Cables y puentes para placas de prototipos
- Un transistor MOSFET de canal N. Por ejemplo, IRF730

# Conmutación de un transistor MOSFET

## Objetivo

Ver cómo se utiliza un MOSFET como interruptor.

## Precauciones

- Identificar el patillaje del transistor a través de su hoja de características.
- Descargar el cuerpo de electricidad estática tocando una cañería o un elemento metálico de la instalación el edificio, para evitar que el MOSFET pueda dañarse.

## Desarrollo

1. Estudia el esquema que se va a utilizar para conmutar un transistor MOSFET. El control de la puerta G se hace con la misma fuente de tensión que alimenta la carga.
2. Monta el circuito en una placa de prototipos. Si no posees en tu aula-taller los pulsadores S1 y S2, puedes realizar la conmutación simplemente tocando durante un segundo el positivo o el negativo, cuando corresponda, de la fuente de tensión.

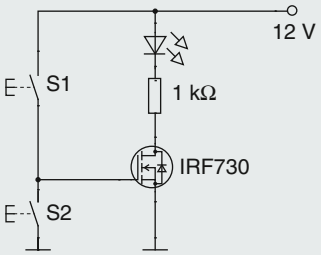



**Figura 5.83.** Esquema de conexión (caso 1).

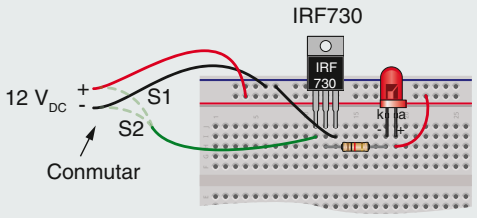



**Figura 5.84.** Montaje en placa de prototipos.

3. El funcionamiento debe ser el siguiente:
   - Al conmutar la puerta G con el positivo, el LED debe encenderse.
   - El LED debe permanecer encendido a pesar de que la señal positiva en la patilla G desaparezca.
   - Para apagar el LED es necesario poner la puerta a masa o negativo.
4. Sustituye el pulsador S2 por una resistencia de 100k.
5. Comprueba qué ocurre al unir el terminal G con el positivo de la fuente de tensión.
6. ¿Qué ocurre cuando dicho terminal se desconecta del terminal positivo?

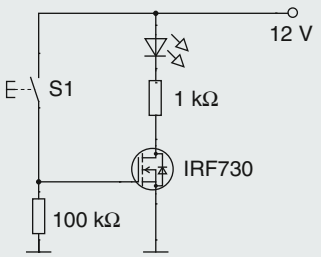



**Figura 5.85.** Esquema de conexión (caso 2).

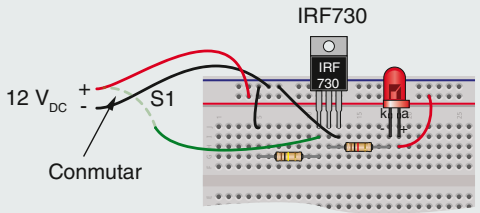
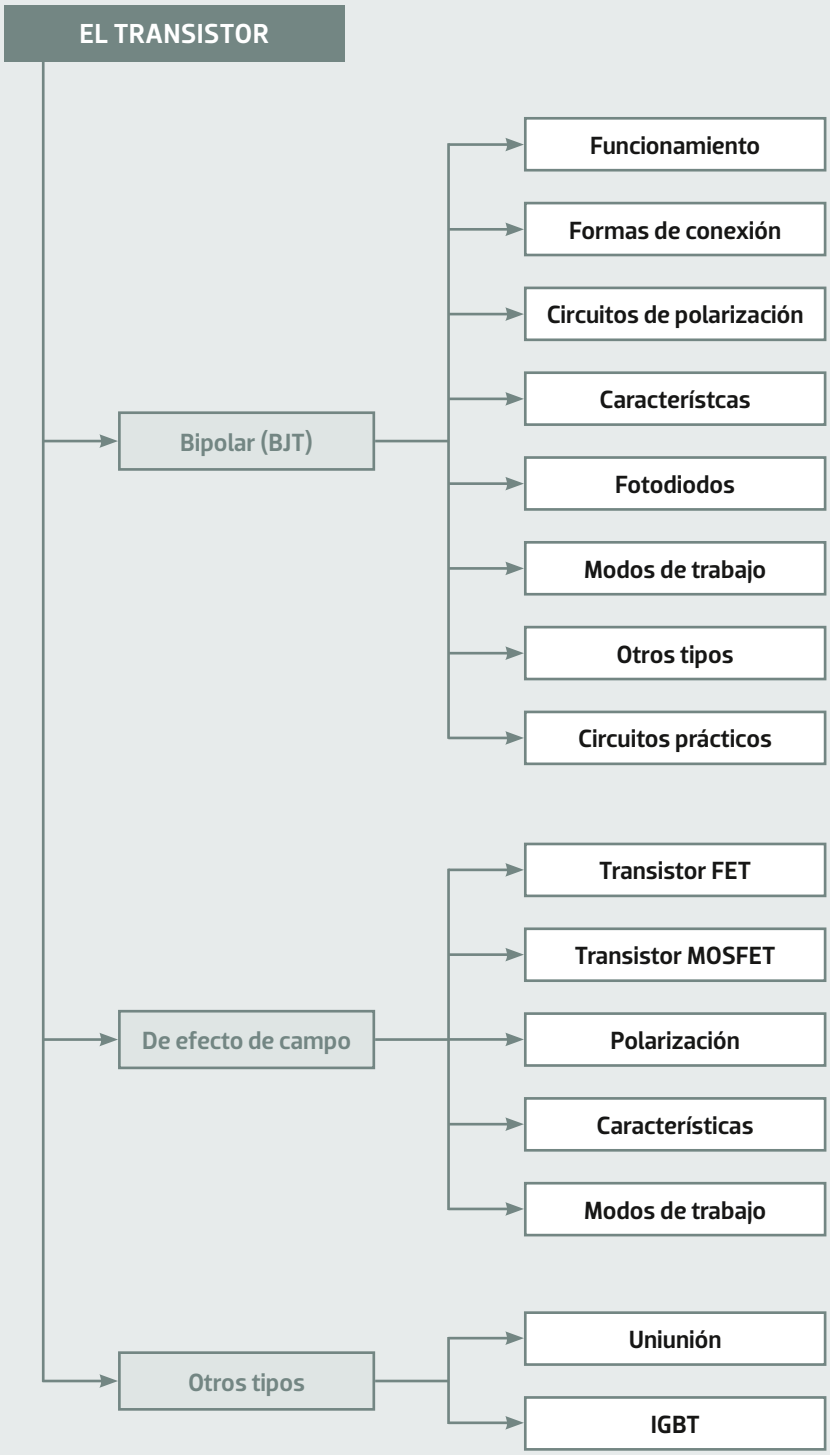



**Figura 5.86.** Montaje en placa de prototipos.

# EN RESUMEN


EL TRANSISTOR
Bipolar (BJT)
Funcionamiento
Formas de conexión
Circuitos de polarización
Caracteríscas
Fotodiodos
Modos de trabajo
Otros tipos
Circuitos prácticos
De efecto de campo
Transistor FET
Transistor MOSFET
Polarización
Características
Modos de trabajo
Otros tipos
Uniunión
IGBT

# 6 Fuentes de alimentación

## Vamos a conocer...

1. Introducción
2. Fuentes de alimentación lineales
3. Fuentes de alimentación conmutadas

PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA

Experimentación sobre el filtrado en las fuentes de alimentación

PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 1

Montaje de una fuente de alimentación para experimentación

PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 2

Identificación de las partes de una fuente de alimentación conmutada

## Y al finalizar esta unidad...

- Sabrás qué son y para qué se utilizan las fuentes de alimentación.
- Conocerás los principales tipos de fuentes de alimentación que existen.
- Identificarás los elementos que constituyen las fuentes de alimentación lineales.
- Conocerás cómo se estabiliza la tensión de salida en las fuentes lineales.
- Montarás diferentes circuitos relacionados con las fuentes de alimentación lineales.

# 1. Introducción

Una fuente de alimentación, o *power supply*, como se la conoce en inglés, es un dispositivo electrónico que adapta la tensión de la red eléctrica de corriente alterna a una tensión de corriente continua filtrada para alimentar todo tipo de equipos en el hogar o en la industria, como pueden ser receptores de TV, equipos *hi-fi*, ordenadores, sistemas de telefonía, etc.

Las fuentes de alimentación pueden ser de dos tipos:

1. Fuentes de alimentación lineales *(linear power supplies)*.
2. Fuentes de alimentación conmutadas *(switch mode power supplies)*.

Las primeras son sencillas de diseñar y construir, pero son voluminosas, generan mucho calor y tienen una eficiencia moderada. Las segundas tienen mucho mejor rendimiento y no emiten tanto calor como las de tipo lineal, sin embargo, son más complejas de construir y de mantener, ya que utilizan sofisticados circuitos de control.

# 2. Fuentes de alimentación lineales

Son fuentes que basan su funcionamiento en la reducción de tensión en un circuito de corriente alterna mediante un transformador y su posterior rectificado y filtrado de la señal obtenida.

Este tipo de fuentes están constituidas por diferentes bloques o partes, los cuales se describen a continuación.

**Figura 6.1.** Fuente de alimentación lineal.

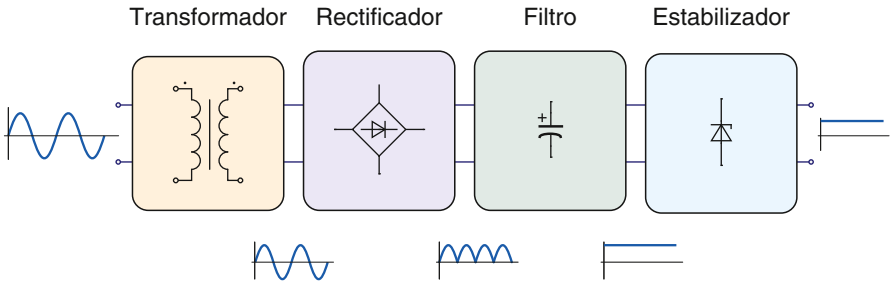



**Figura 6.3.** Diagrama de bloques de un fuente de alimentación lineal.

## 2.1. El transformador

Se encarga de reducir la tensión de la red eléctrica de corriente alterna a la tensión de trabajo del dispositivo receptor que necesita para funcionar.

Las dimensiones de este transformador dependen de la corriente en amperios. Así, cuanto mayor es la corriente necesaria en la salida, mayor será el tamaño del transformador.

El primario se conecta a la red eléctrica de 230 V y el secundario al circuito de rectificación basado en diodos.

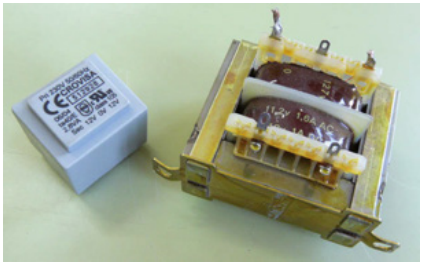


**Figura 6.2.** Transformadores utilizados en fuentes de alimentación lineales.

## 2.2. El rectificador

Es un conjunto de diodos que permite rectificar la corriente alterna en corriente pulsatoria no filtrada. En la mayoría de los montajes, se utilizan circuitos rectificadores de onda completa, bien con dos diodos y una toma central del transformador, o bien, lo que es más habitual, con cuatro diodos conectados en puente.

Como ya se estudió en unidades anteriores, un circuito rectificador se encarga de convertir la corriente alterna, con semiciclos positivos y negativos, en una corriente rectificada con solo semiciclos positivos. La señal obtenida es de corriente continua y, por tanto, puede ser medida con un polímetro conmutado en $V_{DC}$.

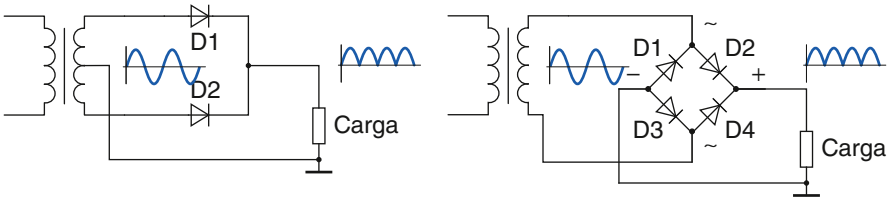



**Figura 6.4.** Rectificadores de onda completa, con dos y cuatro diodos, utilizados en fuentes de alimentación.

La rectificación de corriente se puede realizar mediante la combinación de varios diodos individuales o mediante los denominados «puentes de diodos». Estos integran en su interior los cuatro diodos conectados en puente y disponen de cuatro patillas o terminales, dos para la conexión de la corriente alterna, etiquetadas con el símbolo ~, y los otras dos para la salida de corriente continua, etiquetados con los símbolos + y –.

**Figura 6.5.** Diferentes tipos de fuentes de diodos.

## Seguridad

El trabajo con 230 V puede resultar peligroso e incluso mortal. Siempre que trabajes con dispositivos que utilicen estos valores de tensión, debes extremar las precauciones en su manipulación.

Los «puentes de diodos» se comercializan en diferentes formatos y tamaños, y el uso de unos u otros depende de las características eléctricas de la fuente en la que se van a instalar.

Sus símbolos son los siguientes:

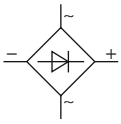
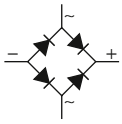
| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Puente de diodos |  |  | D |

**Tabla 6.1.** Puente de diodos.

## Actividades

**1.** Monta un transformador con secundario de 9-0-9 V en una caja aislante, que servirá para comprobar las actividades propuestas en esta unidad relacionadas con las fuentes de alimentación.

Monta el conjunto según se muestra en la figura y, una vez finalizado, comprueba con un polímetro que hay tensión en la regleta de salida. Ten la precaución de no manipular el circuito del transformador cuando está conectado a la red de 230 V.

Materiales necesarios:

- Clavija Schucko.
- Un metro de manguera de 3 x 1,5 mm².
- Un transformador de 0,5 A, primario a 230 V y secundario 9-0-9 V.
- Tres regletas.
- Una caja de plástico con tapa.
- Tornillos con tuerca.
- Bridas.
- 20 cm de cable de 1,5 mm².

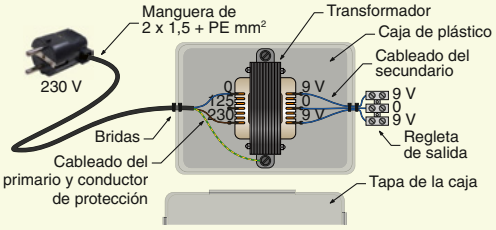



**Figura 6.6.** Montaje para realizar.

## 2.3. El filtro

Es la parte de la fuente de alimentación que permite eliminar el rizado de la tensión pulsatoria que se obtiene del rectificador. Pare ello, se utilizan condensadores polarizados, de tipo electrolítico, de alta capacidad. Así, cuanto mayor es el valor en microfaradios de estos condensadores, mayor es el tiempo empleado en su descarga y, por tanto, más «plana» es la señal de salida.

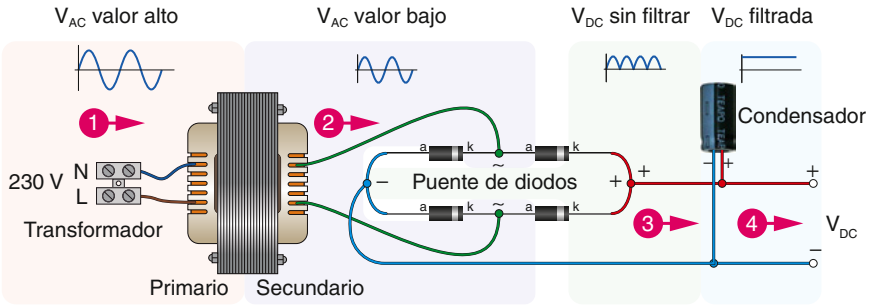



**Figura 6.7.** Fuente de alimentación con filtro con condensador electrolítico.

Hay que tener en cuenta que el valor de tensión de salida del transformador se da en valor eficaz, y el valor que se mide en corriente continua a la salida del rectificador corresponde con el valor medio de la señal pulsatoria obtenida. Así, cuanto mayor es el valor del condensador, mayor es el filtrado, lo cual hace que el valor de salida sea mucho más cercano al valor máximo o de pico de la señal de entrada. Esto quiere decir que, por ejemplo, con una tensión en el secundario del transformador de 12 V (valor eficaz), una vez rectificada y filtrada adecuadamente, puede llegar a tener una tensión en corriente continua del valor máximo ($V_{máx} = V_{ef} \cdot \sqrt{2}$) de la señal de entada de alterna, que, en este caso, es de aproximadamente 17 V.

### Seguridad

La tensión del condensador utilizado como filtro debe ser mayor que la que entrega la fuente, para evitar que este se destruya.

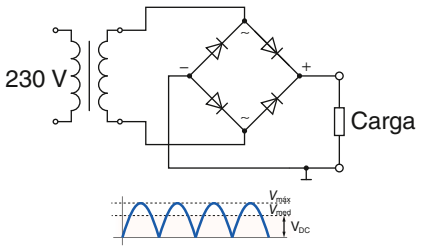



**Figura 6.8.** Rectificador sin filtro y forma de onda obtenida en la carga.

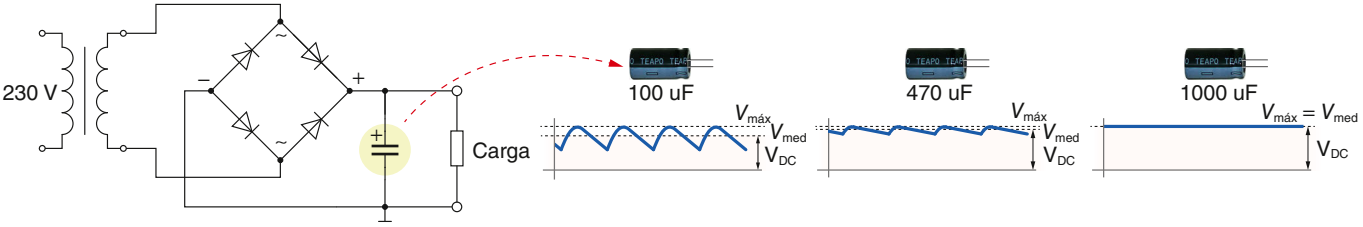



**Figura 6.9.** Ejemplo de filtrado de la señal de un rectifiador para diferentes valores de condensador.

También hay que tener en cuenta que el valor óhmico de la carga a la salida de la fuente de alimentación influye en el filtrado de la señal resultante. Así, para un mismo valor de condensador, cuanto más bajo es el valor resistivo, mayor es el rizado de la señal.

## Actividades

**2.** Utilizando un *software* de simulación electrónica, dibuja el esquema de una fuente de alimentación con filtro, con una resistencia de carga de 1 kΩ, y comprueba lo siguiente:

a) Con el osciloscopio virtual, comprueba la señal obtenida en su salida para los valores de condensador: 10 uF, 100 uF, 470 uF, 1000 uF y sin el condensador.

b) Conecta un voltímetro DC y otro AC en paralelo con la carga, y observa lo que ocurre con las tensiones con cada uno de los valores de condensador.

c) Deja fijo el valor de 1000 uF para el condensador, disminuye el valor de la carga a 100 y 10 Ω y observa la señal obtenida en el osciloscopio.

## Saber más

### En tu profesión

Es importante prestar atención a la polaridad de los condensadores electrolíticos, ya que, si no se conectan de forma adecuada, pueden destruirse de forma irremediable.

## 2.4. El circuito estabilizador

Con lo estudiado hasta el momento, ya es posible construir fuentes de alimentación lineales. No obstante, el problema que estas presentan es que si fluctúa la tensión que alimenta el primario del transformador, o se ve afectado el valor óhmico de la carga, los voltios de la tensión de salida en CC también pueden cambiar de forma drástica. Por este motivo, en numerosas ocasiones, es necesario añadir una etapa, o circuito final, que se encarga de regular la tensión de salida de la fuente a valores de tensión más estables.

Para ello, se pueden utilizar diferentes técnicas, como las que se describen a continuación.

### 2.4.1. Estabilizador con diodo Zener

En este caso, el circuito regulador se basa la conexión de un diodo Zener, y su resistencia de polarización a la salida de la fuente de alimentación.

La resistencia se conecta en serie con el circuito de salida y el Zener en inversa en paralelo con la carga. La principal característica de este tipo de diodos es la denominada tensión Zener, que, una vez alcanzada, permite entregar una tensión estable, aunque se aumenta el valor de la tensión de polarización.

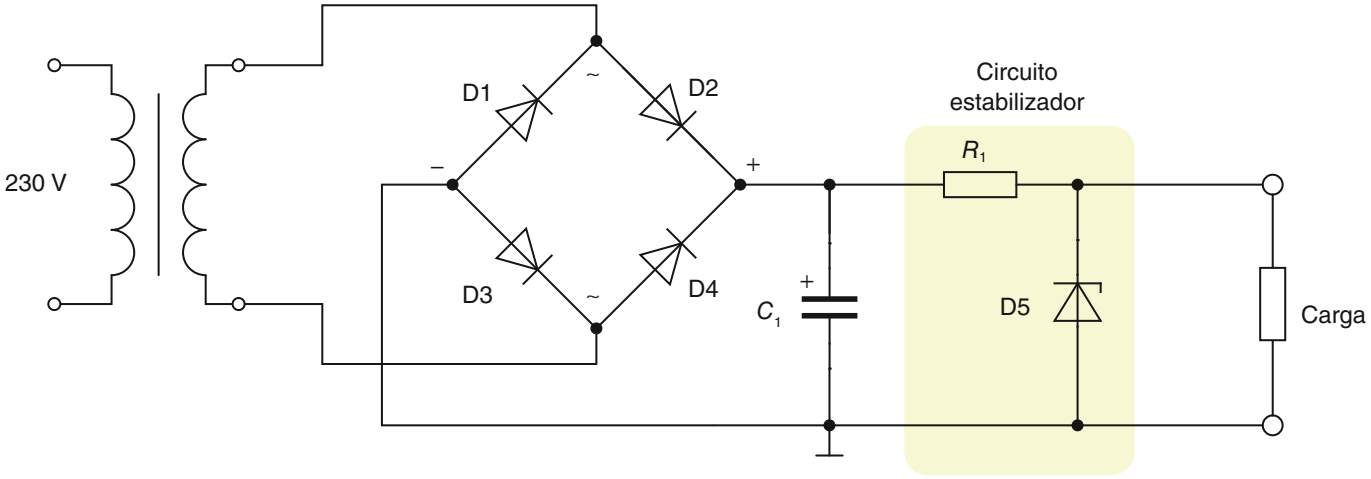



**Figura 6.10.** Fuente de alimentación con estabilizador por Zener.

El circuito con un Zener es perfecto para alimentar cargas fijas. No obstante, si se va a utilizar en fuentes de alimentación en las que se va a desconectar la carga continuamente, se corre el peligro de que, si el circuito de polarización no está correctamente diseñado, toda la corriente pasa por el Zener, calentándolo en exceso y dañándolo de forma irremediable.

### 2.4.2. Estabilizador con diodo Zener y transistor de paso

Para evitar que el Zener se dañe por sobrecarga, se suele recurrir a un circuito basado en un transistor de potencia, también denominado «transistor de paso».

En este caso, no es necesario elegir el Zener para un gran valor de corriente, ya que se utiliza para controlar la base del transistor.

La corriente total del circuito pasa entre el colector y el emisor del transistor, que se conecta en serie con la carga, disipando prácticamente la totalidad de la potencia y evitando la destrucción del Zener por exceso de corriente, aunque se desconecta la carga de la fuente de alimentación.

En este circuito hay que tener en cuenta que el transistor produce una caída de tensión de unos 0,7 V y que afecta al valor de salida de la fuente de alimentación.

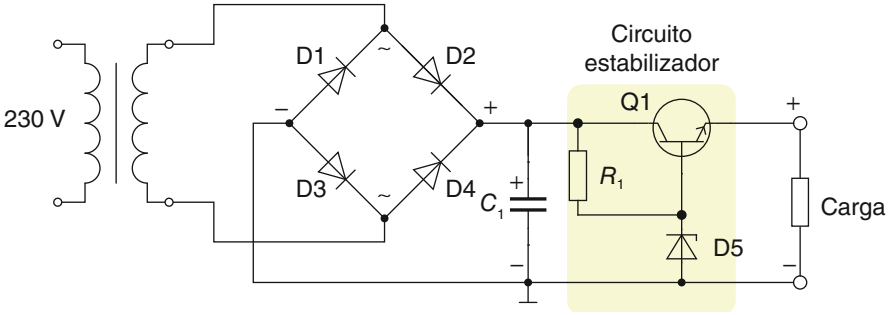



**Figura 6.11.** Circuito estabilizador de tensión con transistor y Zener.

### 2.4.3. Estabilizador con circuito integrado regulador de tensión

Los reguladores de tensión son circuitos integrados diseñados específicamente para construir fuentes de alimentación reguladas y estabilizadas. Con ellos, si la tensión de entrada oscila, dentro de los márgenes que indica el fabricante, la tensión de salida se mantiene estable.

En su interior, además de disponer de circuito estabilizador de tensión, están formados por otros bloques especialmente útiles cuya misión es estabilizar la corriente, proteger contra cortocircuitos y contra excesos de temperatura por sobrecarga. Esta integración «todo en uno» facilita el trabajo del diseñador, ya que no es necesario implementar en la fuente de alimentación otros circuitos, como los estudiados anteriormente, basados en Zener y/o transistor.

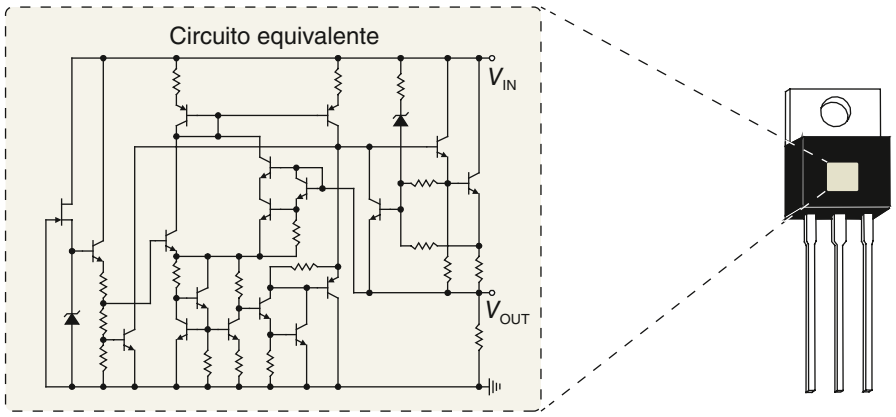



**Figura 6.14.** Circuito equivalente de un integrado regulador de tensión.

Los reguladores de tensión son económicos y fáciles de utilizar, por lo que su uso se ha generalizado para la fabricación de todo tipo de fuentes de alimentación lineales. Estos se encuentran encapsulados en diferentes formatos, pero el formato TO-220, que soporta una corriente de hasta 1,5 A, es uno de los más populares.

Los hay de dos tipos: con salida fija de tensión o con salida de tensión ajustable.

### 2.4.4. Circuitos integrados reguladores de salida fija

Los circuitos integrados de tensión fija de salida tienen tres patillas: una de entrada *(input),* otra de salida (*output*) y una tercera para su conexión a masa *(common).*

## Recuerda

En la configuración con un transistor, si se produce un cortocircuito en la salida, el transistor se destruye, ya que debe soportar la sobrecorriente producida por el cortocircuito.

Para evitar esta anomalía, se recurre a circuitos protectores contra cortocircuitos como los que se muestran a continuación.

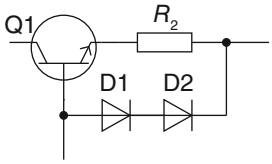



**Figura 6.12.** Protección contra cortocircuitos con dos diodos.

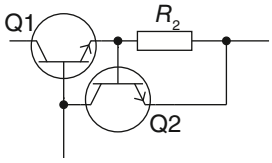



**Figura 6.13.** Protección contra cortocircuitos con un segundo transistor.

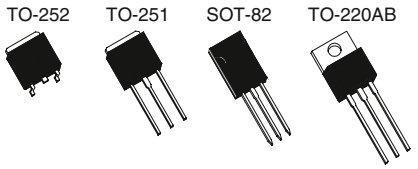



**Figura 6.15.** Diferentes tipos de encapsulados de los reguladores de tensión.

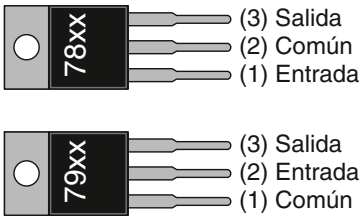



**Figura 6.16.** Patillaje de los integrados reguladores de tensión 78xx y 79xx.

## Seguridad

Los reguladores de tensión deben instalarse sobre disipadores de calor, para evitar que se destruyan por exceso de temperatura.

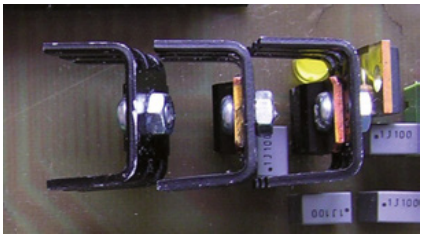


**Figura 6.18.** Disipadores de calor en reguladores de tensión.

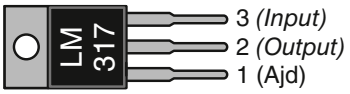



**Figura 6.20.** Patillaje del LM317.

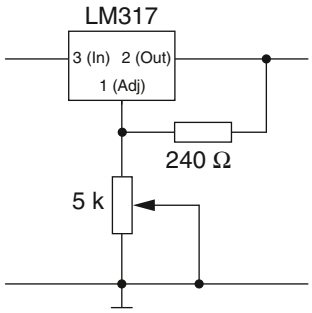



**Figura 6.21.** Circuito de aplicación básico del LM317.

Se comercializan en dos series: la serie 78xx y la 79xx. La primera entrega una tensión positiva, y la segunda una tensión negativa, ambas respecto a la masa del circuito. El número que aparece a continuación del identificador de la serie (xx) es el valor fijo de la tensión de salida.

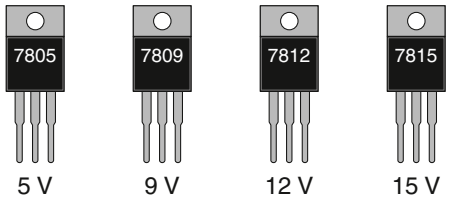



**Figura 6.17.** Ejemplos de reguladores de tensión de la serie 78xx y sus tensiones de salida.

En los circuitos configurados según estos reguladores de tensión, los fabricantes aconsejan poner dos condensadores, uno a la entrada y otro a la salida, para evitar oscilaciones y mantener estable su funcionamiento. El condensador de entrada suele ser de 0,33 uF y el de salida de 0,1 uF. No obstante, el condensador de entrada solamente es necesario si el condensador utilizado como filtro está bastante separado del regulador de tensión.

Hay que remarcar que el valor de estos condensadores no es crítico, y es posible poner otros con valores relativamente próximos.

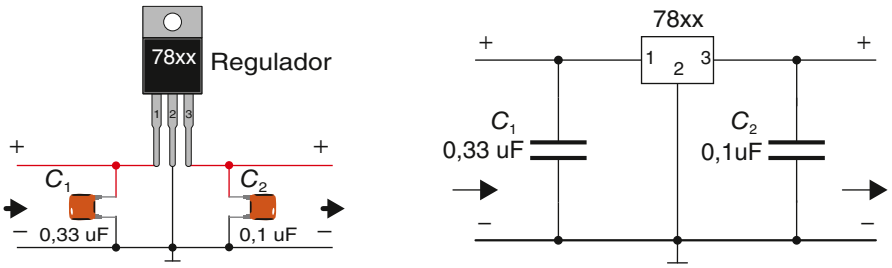



**Figura 6.19.** Condensadores en regulador de tensión.

### 2.4.5. Circuitos integrados reguladores de tensión ajustable

Este tipo de circuitos integrados permiten ajustar la tensión de salida dentro de un rango, en función un circuito de resistencias que se configura en su entorno.

El circuito integrado LM317 es uno de los más utilizados para realizar montajes electrónicos de tensión ajustable. Dispone de tres patillas de conexión: una de entrada, otra de salida y una tercera para realizar el ajuste o regulación. Trabaja con un corriente de 1,5 A y su rango tensiones de salida puede variar entre 1,25 y 37 V. Su circuito de regulación es bastante sencillo de realizar, ya que solamente requiere una resistencia de valor fijo y un potenciómetro conectado a la patilla de ajuste, según se muestra en la figura.

## Actividades

**3.** Utilizando una fuente de alimentación de laboratorio regulable, conecta un circuito integrado regulador de tensión 7805 en una placa de prototipos, y observa lo que ocurre en su tensión de salida aunque varíe la tensión de entrada entre 0 y 25 V. Sustituye el circuito integrado por otros, como el 7809 y el 7812, y haz las mismas comprobaciones. Conecta los condensadores recomendados por el fabricante, alimenta de nuevo el circuito y observa si existe alguna diferencia con las comprobaciones anteriores.

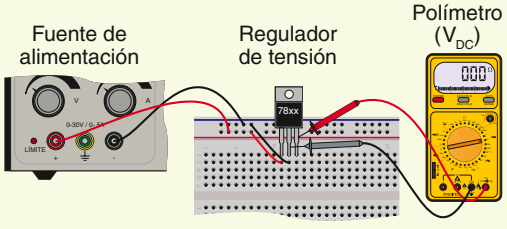



**Figura 6.22.** Comprobación de un regulador de tensión.

## 2.5. Circuitos de fuentes de alimentación lineales

A continuación, se muestran algunos ejemplos prácticos de fuentes de alimentación lineales.

### 2.5.1. Fuente de alimentación no estabilizada

El siguiente circuito muestra una fuente de alimentación completa de propósito general, construida con un puente de diodos y un condensador para filtrar la señal de salida.

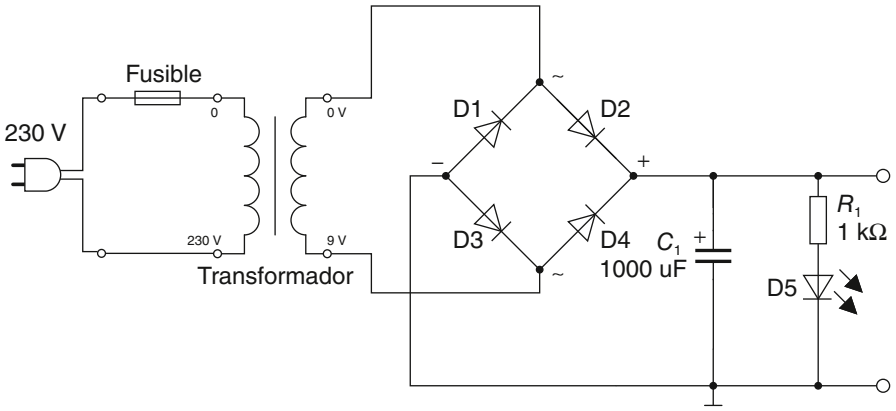



**Figura 6.23.** Fuente de alimentación no estabilizada.

En este circuito, la tensión de salida no encuentra estabilidad. Esto quiere decir que, si en la red de alimentación existen oscilaciones, se verán reflejadas, de forma proporcional, en su salida. Esto es importante, ya que algunos equipos pueden funcionar de forma incorrecta, incluso podrían dañarse ante este tipo de variaciones.

Un condensador de 1000 uF elimina de forma eficiente el rizado de la corriente alterna que sale del rectificador; no obstante, en algunas aplicaciones, como pueden ser la alimentación de equipos de audio, puede requerir condensadores de mayor capacidad (2200 o 4700 uF).

En el circuito de la figura, el diodo LED se utiliza como elemento de señalización, para indicar cuándo la fuente de alimentación entra en funcionamiento.

El conjunto rectificador de onda completa más filtro con condensador eleva el valor de tensión de salida en V respecto al valor $V_{AC}$ medido en los bornes del secundario del transformador, con esta relación: $V_{máx} = V_{ef} \cdot \sqrt{2}$. Así, si en el ejemplo de la figura el secundario del transformador es de 9 $V_{AC}$, la tensión en corriente continua a la salida de la fuente será próxima a 11 $V_{DC.}$

### 2.5.2. Fuente de alimentación simétrica no estabilizada

Muchos circuitos requieren una alimentación de tipo simétrico, con valores de tensión positivos y negativos y una masa de referencia.

Para construir este tipo de fuente de alimentación, es necesario utilizar transformadores que dispongan de devanados secundarios con toma intermedia, por ejemplo +9 V / 0 / –9V.

En la fuente de alimentación de la figura se obtiene un valor de aproximadamente +11 V entre el terminal +V y 0V, y –11 V en el –V y 0 V, pero, de igual forma que la fuente de alimentación anterior, la tensión no está estabilizada y, por tanto, si en la entrada se producen oscilaciones, también se verá afectada su salida.

**Recuerda**

Es importante respetar la polaridad de los transistores electrolíticos y elegirlos con una tensión de trabajo superior a la que saca la fuente de tensión.

**Recuerda**

Una fuente de alimentación, en general, se representa con el siguiente símbolo:

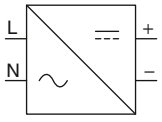



**Figura 6.24.** Símbolo de la fuente de alimentación.

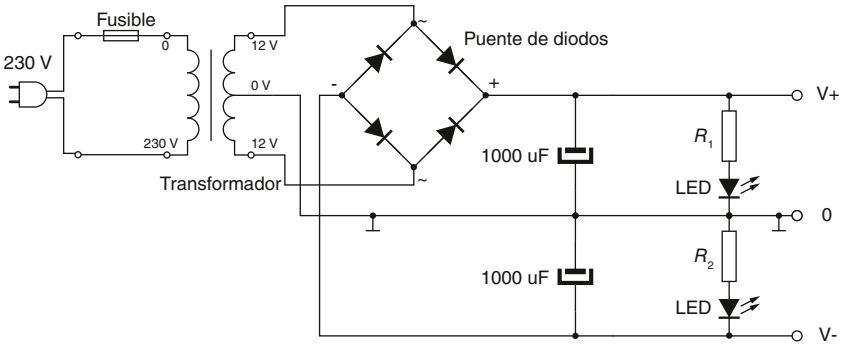



**Figura 6.25.** Fuente de alimentación simétrica no estabilizada.

Los dos diodos LED se encargan de señalizar cuándo existe tensión de salida en ambos circuitos.

### 2.5.3. Fuente de alimentación estabilizada con regulador de tensión

El siguiente esquema muestra una fuente de alimentación completa con salida de tensión positiva estabilizada con un regulador de 5 V.

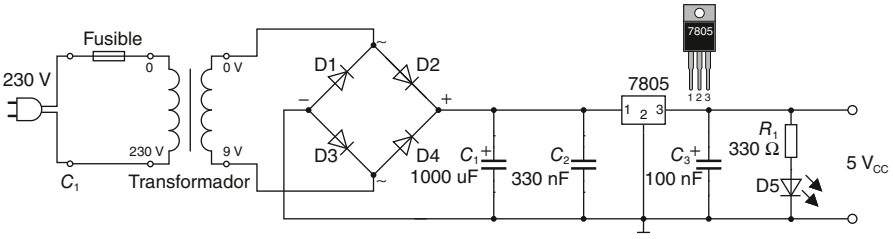



**Figura 6.26.** Fuente de alimentación con regulador de tensión 7805.

En este circuito el condensador actúa de filtro, $C_2$ y $C_3$ son los condensadores de acoplamiento del regulador, que permiten estabilizar su funcionamiento y evitar oscilaciones. Se recuerda que $C_2$ puede no utilizarse si el condensador de filtro está conectado muy cerca del circuito integrado de regulación.

El conjunto $R_1$ y LED, se utiliza como elemento de señalización, para que el usuario de la fuente pueda observar si existe o no tensión en su salida.

### 2.5.4. Fuente de alimentación simétrica estabilizada

Las fuentes de alimentación simétricas con salida de tensión estable se construyen utilizando un segundo circuito integrado regulador con salida negativa.

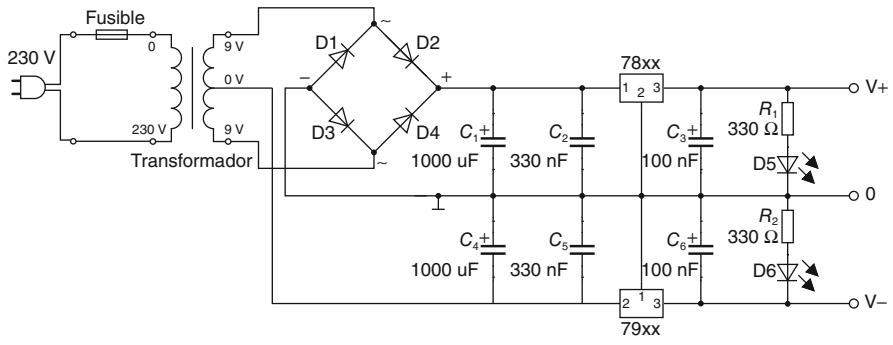



**Figura 6.27.** Fuente de alimentación simétrica con reguladores de tensión.

## Recuerda

Hay que tener en cuenta que el orden de las patillas de los circuitos integrados 79xx es diferente respecto a los de la serie 78xx.

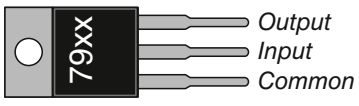



**Figura 6.28.** Patillaje del 79xx.

Los circuitos integrados del tipo 78xx tienen sus equivalentes con salida negativa, y su código tiene el formato 79xx. Así, para configurar fuentes de alimentación simétricas, se deben elegir los circuitos integrados complementarios con el mismo valor de tensión.

Tanto en el circuito integrado 78xx como en el 79xx la parte metálica del encapsulado corresponde con el terminal común o negativo.

## Saber más

Muchos circuitos, como los que trabajan con amplificadores operacionales, pueden requerir fuentes de alimentación simétricas para su funcionamiento.

### 2.5.5. Fuente de alimentación con varias salidas de valores fijos de tensión

Una fuente de alimentación con varias salidas de valor fijo de tensión puede configurarse de diferentes formas:

- Utilizando el mismo transformador, con el mismo o diferente devanado secundario, y diseñando separadamente cada uno de los circuitos rectificadores, de filtro y estabilización.
- Utilizando el transformador y el puente de diodos en común, y ramificando en circuitos independientes para cada una de las salidas de tensión.

En ambos casos, la forma óptima de ajustar los valores de salida se hace utilizando reguladores de tensión de valor fijo.

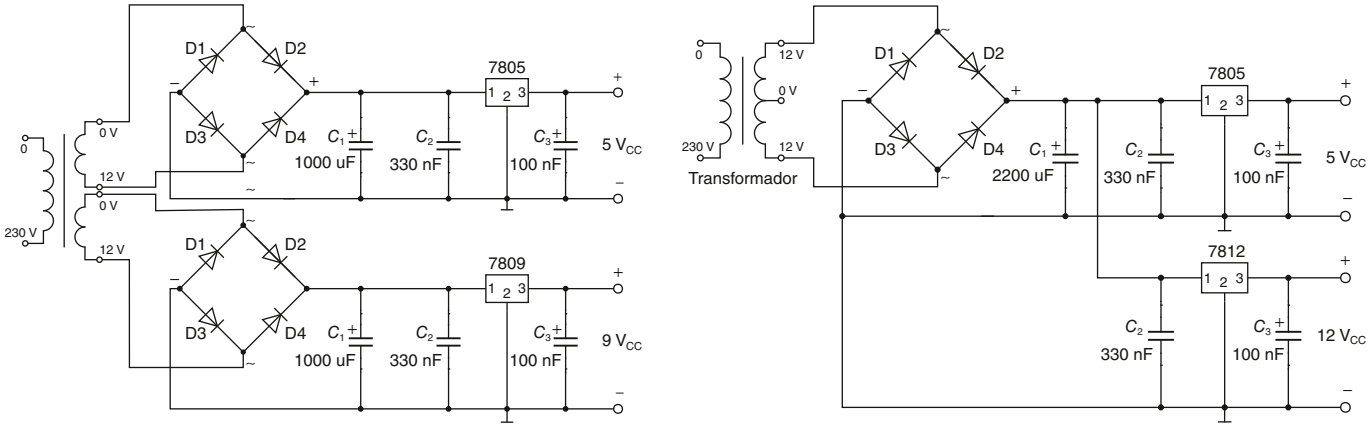



**Figura 6.29.** Fuentes de alimentación con varias salidas de tensión: utilizando circuitos independientes y compartiendo rectificador y filtro.

### 2.5.6. Fuente de alimentación con salida ajustable

Si no se desea disponer de numerosas fuentes de alimentación con salida fija, la mejor opción es construir una fuente de alimentación con salida de tensión regulable.

Un ejemplo de fuente de alimentación regulable es el que se muestra en la siguiente figura utilizando un regulador LM317.

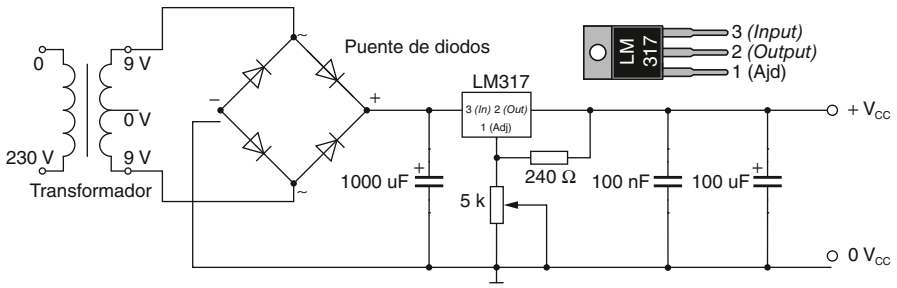



**Figura 6.30.** Fuente de alimentación de tensión regulable con LM317.

## Saber más

### En tu profesión

Las fuentes de alimentación conmutadas se utilizan en todo tipo de dispositivos electrónicos, tanto en el hogar como en la industria, y se encuentran en ordenadores, cargadores de teléfonos móviles, televisores, etc.

**Figura 6.32.** Fuente de alimentación conmutada.

# 3. Fuentes de alimentación conmutadas

También conocidas como SMPS *(switch mode power supply)*, tienen el mismo objetivo que las fuentes de alimentación lineales, es decir, obtener una tensión en CC, partiendo de una tensión en AC de alto valor. No obstante, para conseguirlo se basan en un circuito y un funcionamiento bien diferentes.

Las fuentes de alimentación conmutadas, en lugar de trabajar con la frecuencia de la red eléctrica de 50 Hz, trabajan con frecuencias mucho más altas, en torno a los 100 kHz. La principal ventaja de este tipo de fuentes respecto a las de tipo lineal es que el tamaño del transformador disminuye considerablemente y, por tanto, disminuyen las pérdidas de energía y el volumen de la fuente. No obstante, el circuito electrónico es mucho más complejo y, además, como funciona a base de pulsos a altas frecuencias, puede transferir ruido e interferencias electromagnéticas a la red eléctrica, que pueden afectar a otros circuitos cercanos.

## 3.1. Funcionamiento de una fuente de alimentación conmutada

A continuación, se muestra un esquema de bloques simplificado que facilita el estudio del funcionamiento de una fuente de alimentación conmutada. Si bien cada fuente puede tener un diseño diferente, todas basan su funcionamiento en este circuito de referencia.

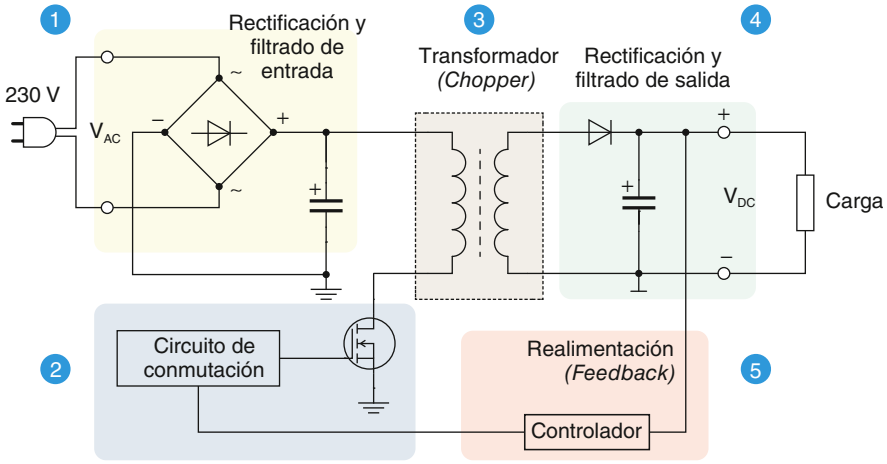



**Figura 6.31.** Esquema simplificado de una fuente de alimentación conmutada.

El esquema muestra cinco bloques, que se describen a continuación:

1. **Rectificación y filtrado de entrada.** Es el circuito que rectifica y filtra la corriente alterna de la red eléctrica en corriente continua. Este bloque es similar al de las fuentes de alimentación lineales, pero con la diferencia de que no dispone de ningún transformador reductor, por lo que a su salida se obtiene una tensión $V_{DC}$ de valor elevado, que es de unos 325 V si la fuente se conecta a una red eléctrica de 230 V.
2. **Circuito de conmutación.** Ya que la corriente continua no se puede transformar, el circuito electrónico de conmutación es el encargado de convertir la tensión de salida de corriente continua del bloque de rectificación y filtrado en una tensión pulsante de onda cuadrada, para que pueda ser tratada en el transformador. Esta señal se genera con una frecuencia de unos 100 kHz, aunque puede ser diferente según el modelo de fuente de alimentación, y permite que el transformador tenga un tamaño muy reducido, si se compara con los de las fuentes de alimentación lineales.

3. **Transformador.** Como en otros circuitos de tipo lineal, el transformador tiene la misión de reducir la tensión de entrada a los valores que requieren los dispositivos que la fuente va a alimentar. Debido a que los trasformadores con núcleo de hierro no tienen un buen comportamiento con las altas frecuencias, este tipo de fuentes de alimentación utilizan transformadores de ferrita. A este tipo de transformadores se los conoce como *chopper* y, de la misma manera que otros tipos de transformadores, pueden disponer de varios devanados de salida.
4. **Rectificación y filtrado de salida.** Es el circuito encargado de tratar la tensión de salida que va a alimentar la carga final. Este bloque se alimenta de alguno de los devanados del secundario del transformador, y dispone de uno o más diodos para la rectificación, condensadores y bobinas de filtro, y, en ocasiones, circuitos estabilizadores de tensión basados en Zener o circuitos integrados.
5. **Controlador.** Es el circuito encargado de supervisar lo que ocurre en la salida, para así ajustar de forma automática el circuito de conmutación.

Un circuito más detallado de una fuente de alimentación conmutada es el que se muestra en la siguiente figura. En él se observa cómo la zona de tensión elevada y la de tensión reducida de la fuente están aisladas galvánicamente por el transformador en la zona de potencia y por un optoacoplador en la realimentación. Esto que hace, que desde el punto de vista del usuario, este tipo de fuentes sean bastante seguras eléctricamente.

## Vocabulary

- Índices absolutos máximos: *absolute maximum ratings.*
- Diagrama de bloques: *block diagram.*
- Bobina: *coil.*
- Común: *common.*
- Controlador: *controller.*
- Daño: *damage.*
- Puente de diodos: *diode bridge.*
- Realimentación: *feedback.*
- Aislamiento: *insulation.*
- Fuente de alimentación: *power supply.*
- Rectificar: *rectify.*
- Reglas de comprobación: *rules check.*
- Conmutación: *switching.*
- Transformador: *transformer.*

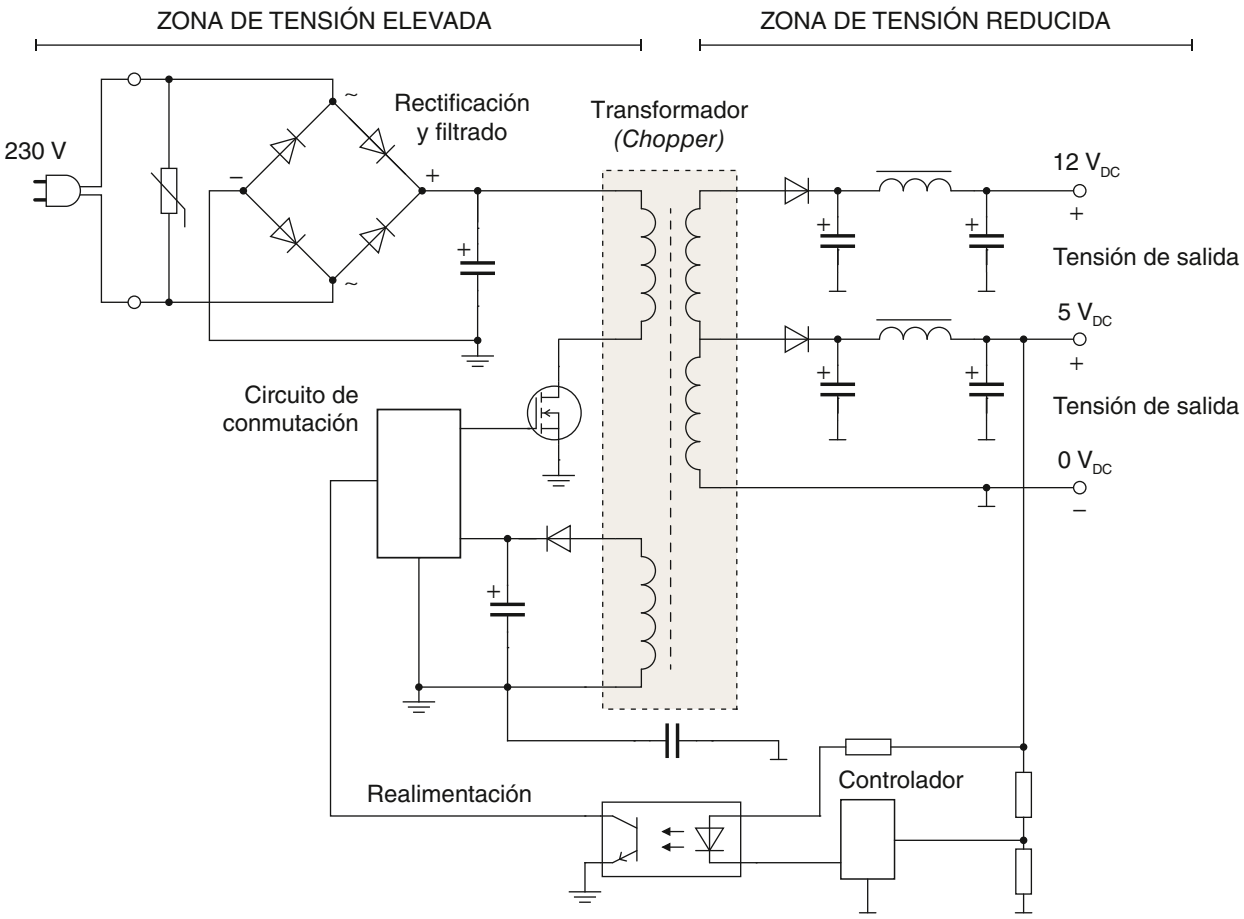



**Figura 6.33.** Esquema de una fuente de alimentación conmutada.

# PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA

## Herramientas

- Tijera
- Pinzas
- Alicates
- Destornilladores
- Polímetro
- Osciloscopio

## Material

- Un puente de diodos
- Condensadores electrolíticos de 10, 100 y 1000 uF
- Resistencias de 200 Ω y 1 kΩ
- Cablecillos de diferentes colores para placa de prototipos

# Experimentación sobre el filtrado en las fuentes de alimentación

## Objetivo

Comprobar cómo afecta el valor del condensador utilizado como filtro en la señal de salida de una fuente de alimentación lineal.

## Precauciones

- Identificar los terminales del puente de diodos y no conectar los de alterna en continua, y viceversa.
- Respetar la polaridad de los condensadores electrolíticos.
- Ajustar la sonda de prueba del osciloscopio.
- No manipular los terminales del transformador cuando está conectado a la red eléctrica.

## Desarrollo

1. Monta sobre una placa de prototipos un puente de diodos.
2. Conecta la entrada de corriente alterna a la salida del transformador que montaste en una de las actividades propuestas en la unidad.
3. Cablea la salida del puente de diodos de tal forma que dos de los orificios de la placa de prototipos sirvan para intercambiar de forma cómoda diferentes tipos de condensadores.
4. Pon entre el positivo y el negativo de salida una resistencia de carga de 1k.
5. Conecta dos cablecillos de salida con el positivo y el negativo que permitan conectar en ellos los instrumentos de medida.

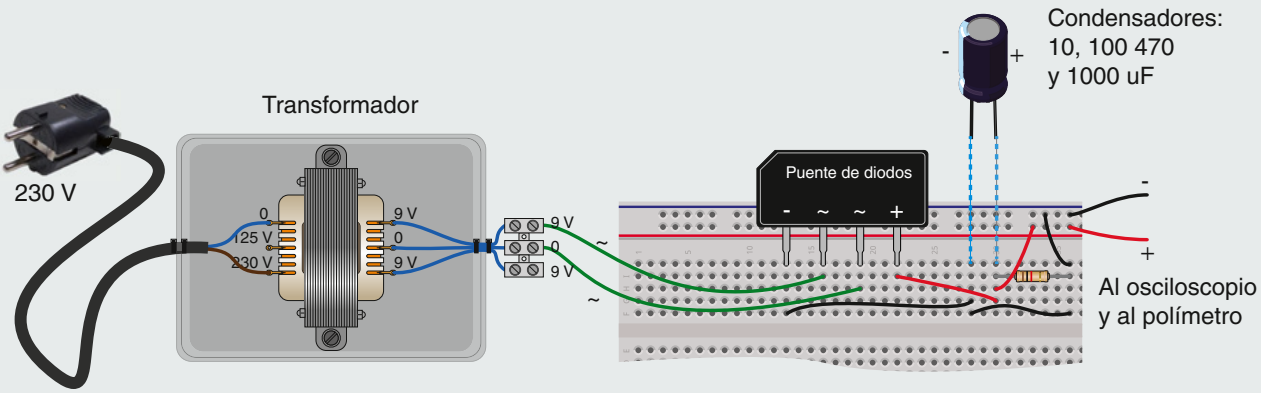
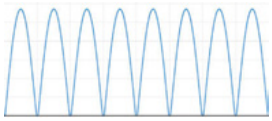
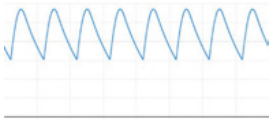
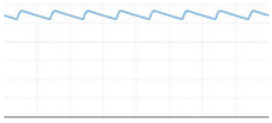
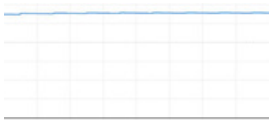



**Figura 6.34.** Puente de diodos en *protoboard*.

### Prueba 1

6. Sin conectar ningún condensador en la placa de prototipos, comprueba con un osciloscopio la señal de salida del rectificador.
7. Mide con un polímetro la tensión de corriente continua en el mismo punto y anota los resultados en tu cuaderno de trabajo.
8. Pon un condensador de 10 uF en la placa de prototipos y repite las medidas con el osciloscopio y el polímetro.

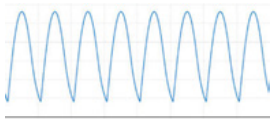
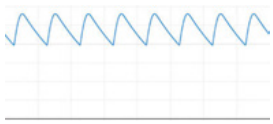
9. Haz lo mismo con condensadores de 100 y 1000 uF.
10. Comprueba qué ocurre con la tensión y la forma de la señal de salida a medida que aumenta el valor del condensador.

| | $V_{DC}$ medida con polímetro | Señal de salida |
|---|---|---|
| Sin condenador | 6,8 V |  |
| Condensador de 10 uF | 8,9 V |  |
| Condensador de 100 uF | 10,9 V |  |
| Condensador de 1000 uF | 11,1 V |  |

De esta prueba se puede sacar como conclusión que, a medida que aumenta el condensador de filtro de salida del condensador, menor es el rizo de la señal de salida y mayor la tensión en corriente continua medido en dicho punto.

**Prueba 2**

11. Mantén fijo el valor de 100 uF del condensador y sustituye la resistencia de 1k por una de 200 Ω.
12. Repite las comprobaciones con el osciloscopio y el polímetro, para los valores de condensador antes utilizados, y observa en qué medida afecta disminuir el valor de la carga a 200 Ω.

| | $V_{DC}$ medida con polímetro | Señal de salida |
|---|---|---|
| Condensador de 10 uF | 7,1 V |  |
| Condensador de 100 uF | 9.8 V |  |
| Condensador de 1000 uF | 10,1 V |  |

En esta segunda prueba se observa que, si disminuye el valor de la carga, para los mismos valores de condensador, el rizado empeora y la tensión de salida disminuye.

# TEST DE EVALUACIÓN

RESUELVE EN TU CUADERNO O BLOC DE NOTAS

1. **Una fuente de alimentación:**
   a) Transforma la corriente alterna de alta tensión en otra de valor reducido.
   b) Se encarga de reducir la tensión de un circuito de alimentación de corriente continua.
   c) Convierte la corriente continua en alterna.
   d) Convierte la corriente alterna en continua.

2. **Los componentes que forman la parte de rectificación de una fuente de alimentación lineal son:**
   a) Transistores.
   b) Transformadores.
   c) Condensadores.
   d) Diodos.

3. **Un condensador electrolítico a la salida de un circuito rectificador tiene la misión de:**
   a) Rectificar la corriente.
   b) Estabilizar la tensión de entrada.
   c) Filtrar la señal.
   d) Transformar la tensión en una más reducida.

4. **Un circuito regulador etiquetado con el código 7905:**
   a) Entrega una tensión positiva de 5 $V_{DC}$.
   b) Entrega una tensión negativa de 5 $V_{DC}$.
   c) Permite regular la tensión de salida desde el circuito rectificador.
   d) Se utiliza para estabilizar la tensión de salida a 9 $V_{DC}$.

5. **Una fuente de alimentación simétrica es aquella que:**
   a) No entrega una tensión estabilizada.
   b) Tiene una tensión estabilizada en su salida.
   c) Entrega dos valores de tensión respecto a masa, uno positivo y el otro negativo.
   d) Es la que utiliza un transformador denominado *chopper*.

6. **Los condensadores que se conectan a la entrada y a la salida de un regulador de tensión sirven para:**
   a) Evitar que el circuito integrado se queme.
   b) Rectificar la corriente.
   c) Sustituir a los diodos en las fuentes de alimentación.
   d) Evitar oscilaciones y mantener estable su funcionamiento.

7. **Una fuente de alimentación simétrica es aquella:**
   a) En la que la tensión de salida no cambia aunque lo haga la de entrada.
   b) Que no tiene condensador de filtro.
   c) Que entrega una tensión de salida de valor positivo y otra de valor negativo.
   d) Que utiliza reguladores de tensión.

8. **Si a una fuente de alimentación que utiliza una tensión de alterna de 12 V en la entrada, se le conecta un condensador de 2 000 uF como filtro, ¿qué valor de tensión en corriente continua habrá en su salida?**
   a) Unos 6 V.
   b) 12 V.
   c) 24 V.
   d) Unos 17 V.

9. **Una fuente de alimentación conmutada respecto a una de tipo lineal es:**
   a) Más pesada.
   b) Más sencilla de diseñar y montar.
   c) Más eficiente.
   d) Más fácil de reparar.

10. **El circuito de conmutación de una fuente de alimentación conmutada se basa en:**
    a) Un puente de diodos.
    b) Un transistor MOSFET.
    c) Un transformador *chopper*.
    d) Un regulador de tensión.

# ACTIVIDADES FINALES

**1.** Utilizando un *software* de simulación electrónica, comprueba lo propuesto en la práctica profesional de esta unidad. Observa si los resultados, tanto de la tensión medida en la salida del rectificador como la señal visualizada en el osciloscopio virtual, son similares a los realizados de forma experimental.

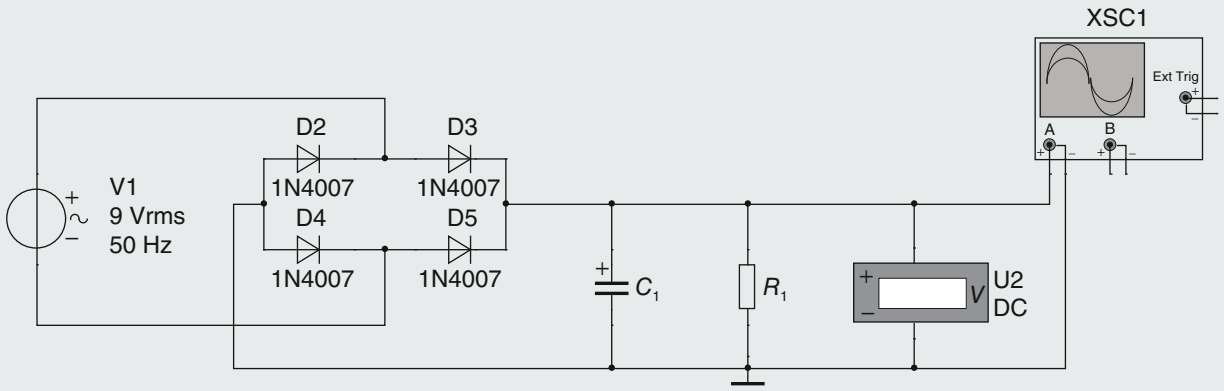



**Figura 6.35.** Circuito para simular.

**2.** Simula el siguiente circuito basado en un regulador de tensión con un Zener de 5 V. Inserta un amperímetro en serie con el Zener y comprueba la corriente que circula por esa parte del circuito si la resistencia de carga está conectada. Quita la carga y mide de nuevo la corriente que marca el amperímetro. Si el simulador lo permite, puedes ayudarte de un pulsador NC para conectar y desconectar la carga de forma interactiva y así observar mejor lo que ocurre con la corriente.

¿Por qué cambia la corriente al desconectar la carga? ¿Qué consecuencias puede tener esto en el circuito?

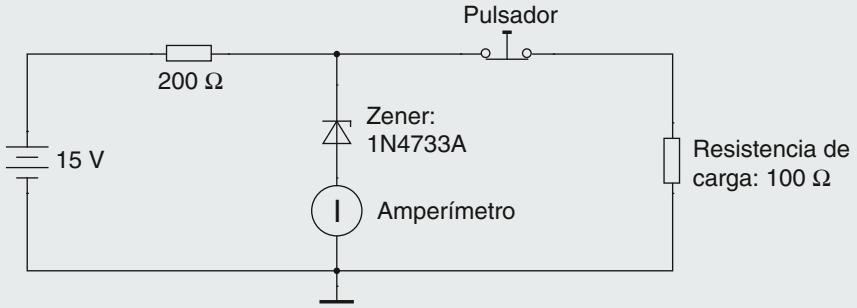



**Figura 6.36.** Comprobación de la corriente en un Zener.

**3.** Repite la experiencia de la actividad anterior sobre el siguiente un circuito estabilizador basado en Zener y transistor de paso. ¿Qué ocurre con la corriente en el amperímetro con la carga y sin ella? ¿Qué ventajas tiene el siguiente circuito respecto al anterior? ¿Cuál es más aconsejable utilizar como circuito regulador de tensión?

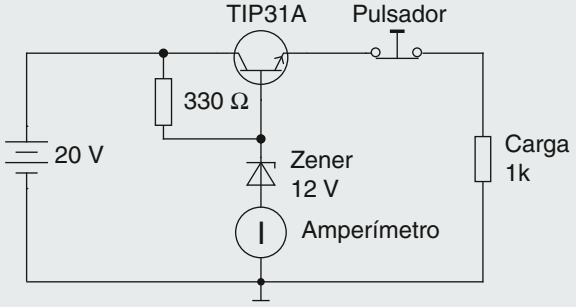



**Figura 6.37.** Comprobación de corriente en transistor de paso.

# ACTIVIDADES FINALES

**4.** Monta sobre una placa de prototipos el circuito correspondiente a una fuente de alimentación simétrica no estabilizada. Compara los resultados con tu compañero. Sustituye el transformador por otro con salida en el secundario 12-0-12 V y vuelve a realizar las medidas en los terminales de salida. ¿Qué observas con respecto a las comprobaciones realizadas con el transformador con secundario de 9-0-9 V?

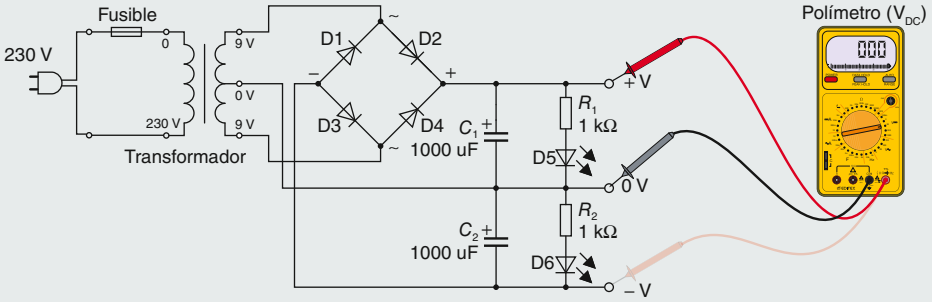



**Figura 6.38.** Medidas en una fuente de alimentación simétrica no estabilizada.

**5.** Monta sobre una placa de prototipos el circuito correspondiente a una fuente de alimentación simétrica como la de la figura, en la que se utilizan los integrados reguladores 7805 y 7905. Realiza las medidas de tensión en los puntos marcados en el esquema. ¿Cuál es la tensión medida antes de la entrada en los circuitos integrados reguladores? ¿Y en los terminales de salida?

De igual forma que en la actividad anterior, sustituye el transformador por otro con un secundario de 12-0-12 V o superior y repite las medidas. ¿Varía la tensión en los terminales de salida?

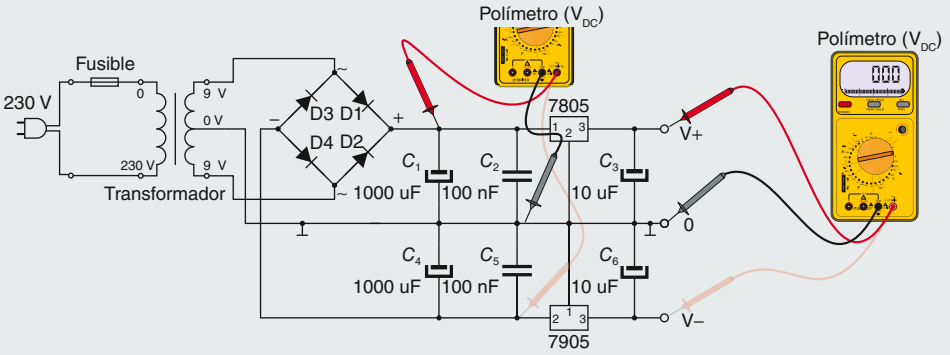



**Figura 6.39.** Medidas en una fuente de alimentación simétrica con salida estabilizada.

**6.** Monta en un placa de prototipos el siguiente circuito correspondiente a una fuente de alimentación regulable, basada en el circuito LM317. Una vez montada y alimentada mediante el transformador, mueve el potenciómetro a sus dos extremos y comprueba entre qué valor mínimo y máximo se puede obtener la tensión de salida.

¿Qué ocurre si se sustituye el transformador con secundario 9-0-9 V por otro de 15-0-15 V?

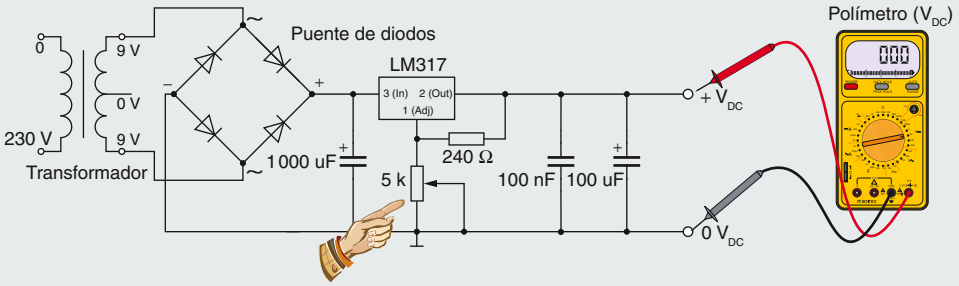



**Figura 6.40.** Montaje de una fuente de tensión con salida regulable.

# PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 1

## Herramientas

- Polímetro
- Herramientas de electricista
- Soldador de estaño

## Material

- Un puente de diodos
- Un condensador electrolítico de 1000 µF /25 $V_{DC}$
- Cable de 0,75 $mm^2$ de diferentes colores
- Ocho regletas
- Bridas
- Una caja de plástico con tapa (una solución económica es utilizar cajas tipo fiambrera)
- Cinta aislante o cinta termorretráctil
- Estaño

# Montaje de una fuente de alimentación para experimentación

## Objetivo

Montar una fuente de alimentación que se pueda utilizar para alimentar los circuitos propuestos a lo largo del libro.

## Precauciones

- Se debe respetar la polaridad del condensador electrolítico, ya que de lo contrario podría destruirse.
- Conectar adecuadamente los terminales del puente de diodos.
- Marcar los terminales de la regleta para conectar, si procede, correctamente los reguladores de tensión.

## Desarrollo

1. Fija en la tapa una regleta con tres bornes.
2. Realiza el cableado que se muestra en la figura, utilizando la técnica de soldadura blanda o atornillando cuando corresponda.
3. Cubre las uniones de soldadura con cinta aislante o cinta termorretráctil.
4. Coge una caja de plástico, haz dos orificios laterales con la tijera para la entrada y salida de cables, tanto en los laterales como en la tapa.
5. Inserta el conjunto en su interior.
6. Conecta las regletas e identifica la polaridad en la salida de continua y en la regleta de la tapa.

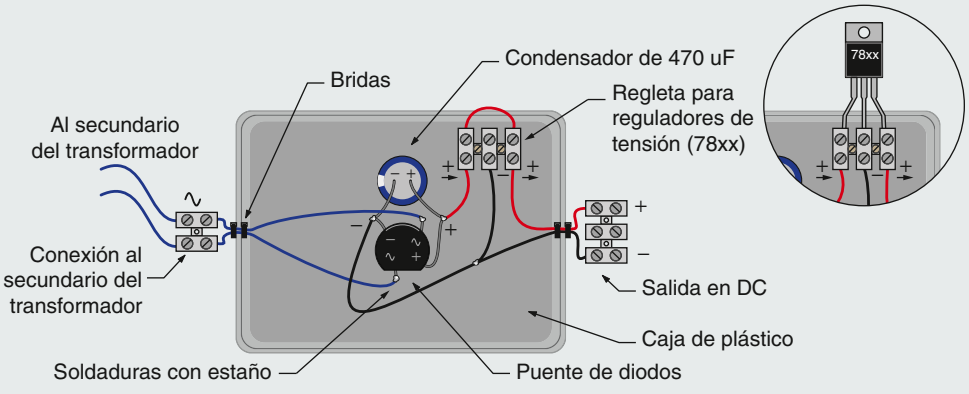



**Figura 6.41.** Montaje para realizar.

7. Fija el cableado de salida mediante bridas para evitar que se muevan en el interior.
8. Pon la tapa de la caja para que el circuito quede protegido.
9. La regleta de la tapa permitirá conectar en ella cualquier regulador de tensión de la serie 78xx para estabilizar la tensión de salida de la fuente. Si no se desea estabilizar la salida, se puentea con un cable entre los bornes de ambos extremos dejando libre en el medio.
10. Conecta al transformador montado en una de las actividades de la unidad y prueba el funcionamiento del circuito.

# PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 2

## Herramientas

- Herramientas de electricista

## Material

- Una fuente de alimentación conmutada comercial

# Identificación de las partes de una fuente de alimentación conmutada

## Objetivo

Identificar cada una de las partes que constituyen una fuente de alimentación conmutada.

## Precauciones

- Ser cuidadosos en el momento de desmotar el dispositivo y colocar los tornillos y piezas en pequeñas cajas para que no se extravíen.

## Desarrollo

1. Localiza los tornillos o elementos que permiten retirar la carcasa de la fuente de alimentación.
2. Observa el interior de la pala electrónica y hazle una foto.
3. Imprime la foto e indica sobre ella dónde están los siguientes elementos y algunas de sus características:
   - Rectificador: ¿es un puente o son diodos individuales?
   - Condensador electrolítico de filtro: ¿qué capacidad tiene y cuál es su máxima tensión?
   - El transformador: ¿qué forma tiene?
   - El circuito rectificador de salida: ¿cuántos diodos tiene? ¿Se observa algún circuito estabilizador? ¿Cómo es el condensador que actúa como filtro?
   - Circuito de conmutación: ¿utiliza un transistor o un circuito integrado?

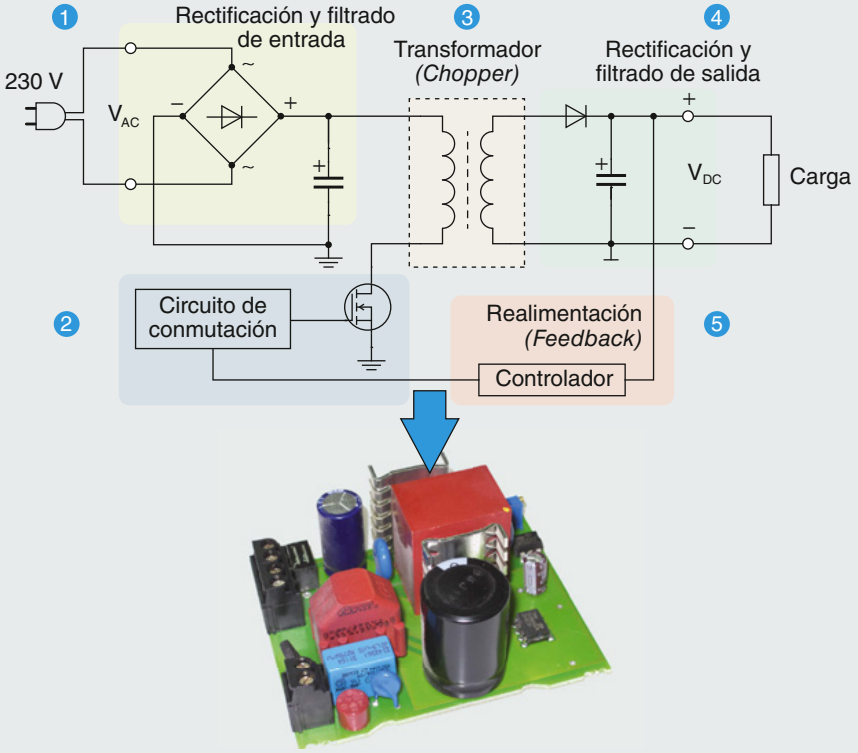
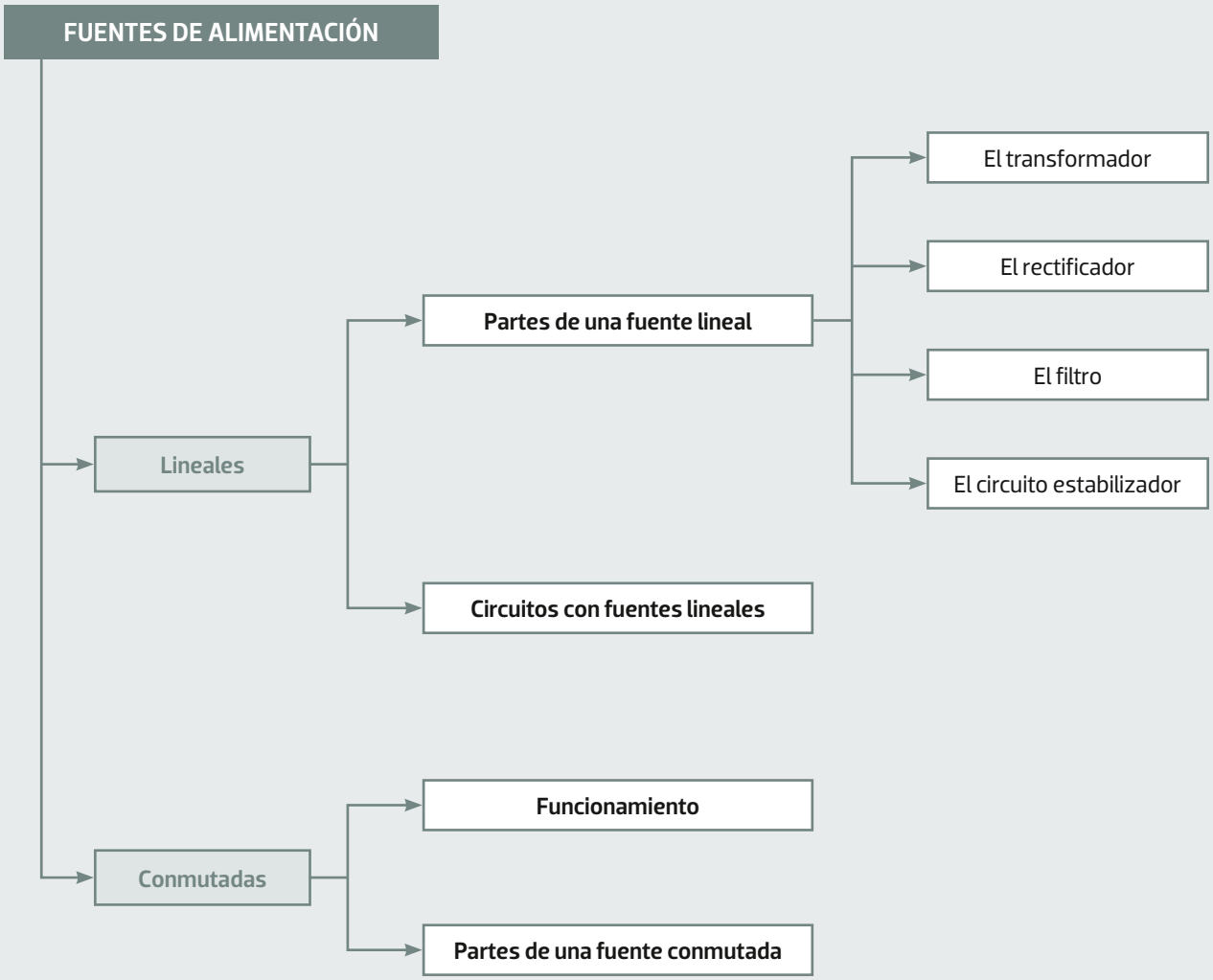
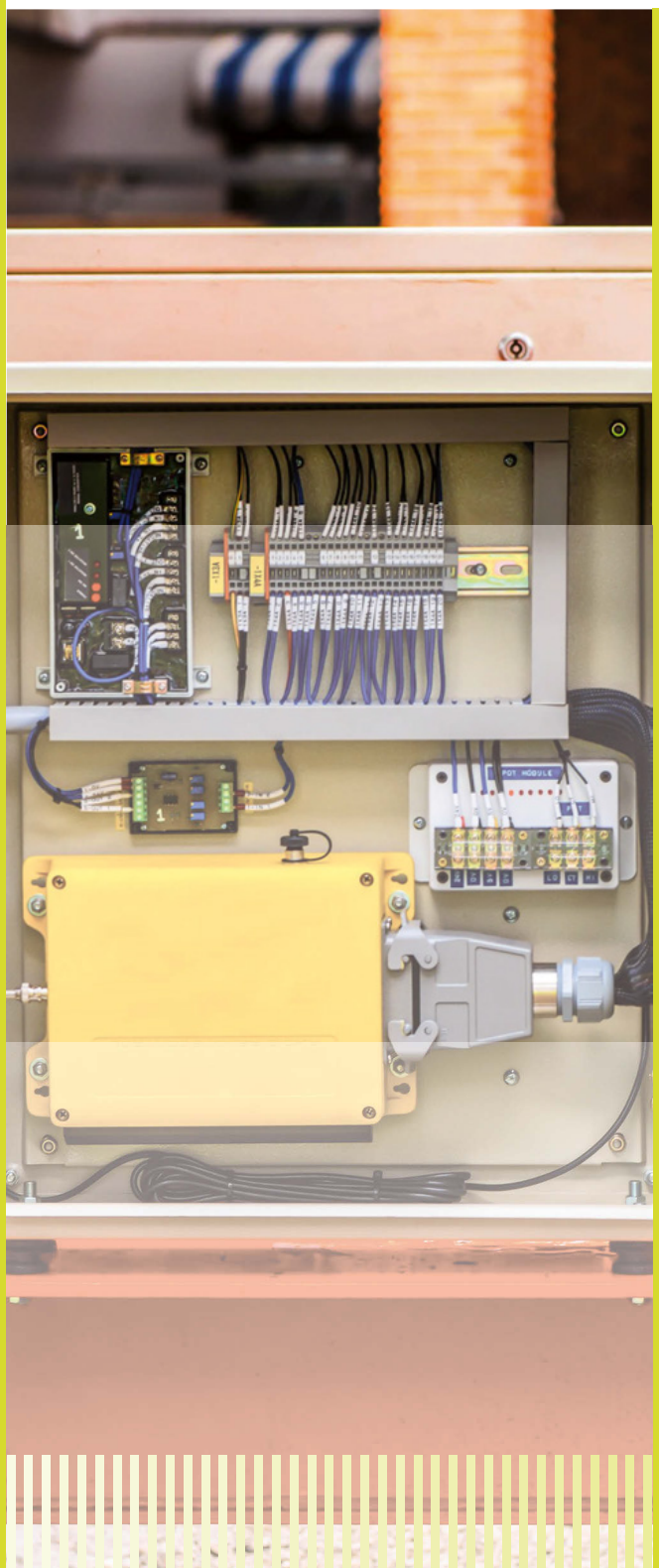



**Figura 6.42.** Fuente de alimentación conmutada.

# EN RESUMEN


FUENTES DE ALIMENTACIÓN
Lineales
Partes de una fuente lineal
El transformador
El rectificador
El filtro
El circuito estabilizador
Circuitos con fuentes lineales
Conmutadas
Funcionamiento
Partes de una fuente conmutada

# 7 Electrónica de potencia



## Vamos a conocer...

1. Introducción a la electrónica de potencia
2. Aplicaciones de la electrónica de potencia
3. Semiconductores de potencia
4. Diodos de potencia
5. Transistores
6. Tiristor

PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA

Uso de un tiristor SCR como conmutador

PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 1

Comprobación de un tiristor con polímetro

PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 2

Puente en H con transistores BJT

## Y al finalizar esta unidad...

- Conocerás qué es la electrónica de potencia y su importancia en la industria.
- Aprenderás las aplicaciones más importantes de la electrónica de potencia.
- Identificarás los dispositivos semiconductores utilizados en la electrónica de potencia.
- Montarás diferentes circuitos con los componentes más característicos utilizados en esta técnica electrónica.

# 1. Introducción a la electrónica de potencia

La electrónica de potencia, también denominada electrónica industrial, es una técnica de estado sólido destinada a controlar cargas de gran potencia mediante dispositivos semiconductores. A diferencia de la electrónica de «señales débiles» estudiada hasta ahora, en la electrónica de potencia, las señales (tensión, corriente...) trabajan con niveles considerablemente altos.

La mayor parte de las aplicaciones de electrónica de potencia hacen trabajar a los dispositivos semiconductores como si de interruptores se tratase, siendo mucho más importante en ellas su comportamiento en la conmutación que en el control de su ganancia o amplificación.

La conmutación de los dispositivos de potencia es gestionada mediante un circuito de mando o de control, que en algunas ocasiones requiere de realimentación o *feedback* para gestionar la carga de forma adecuada.

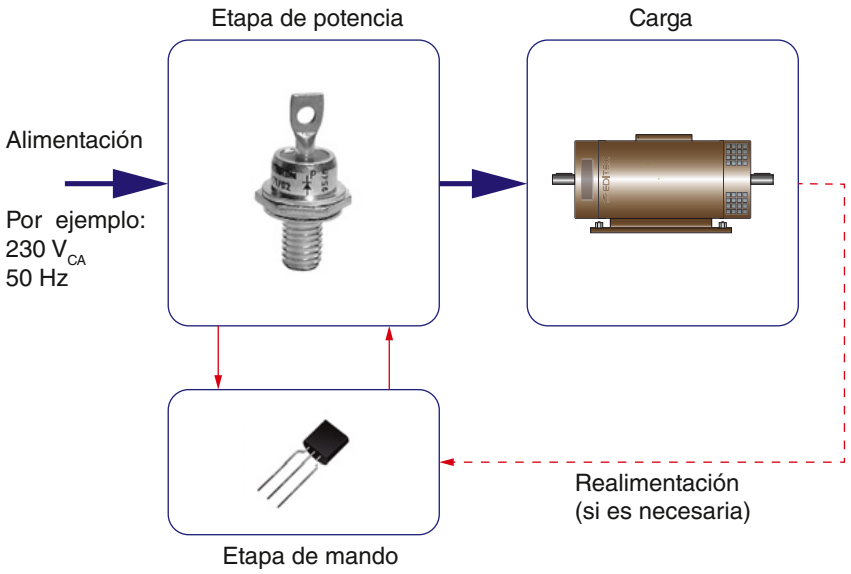



**Figura 7.2.** Diagrama de bloques de electrónica de potencia.

## Saber más

La electrónica de potencia tiene enormes aplicaciones industriales, como puede ser el control y la regulación de velocidad de máquinas eléctricas rotativas.

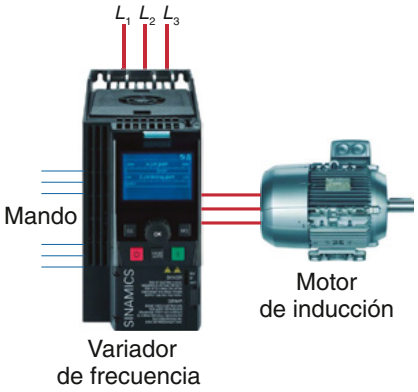



**Figura 7.1.** Dispositivo industrial de electrónica de potencia.

# 2. Aplicaciones de la electrónica de potencia

Las principales aplicaciones de la electrónica de potencia se encuentran en los denominados convertidores. Con ellos es posible convertir un tipo de energía eléctrica en otra de diferentes características.

Su clasificación es la siguiente:

## 2.1. Convertidores AC-AC

Son los encargados de transformar una señal de corriente alterna de unas características en otra del mismo tipo, pero de características diferentes.

Un convertidor AC-AC puede ser un simple transformador. Con él es posible convertir la tensión de corriente alterna de entrada en otra tensión de valor diferente en la salida.

Si se desea que la señal de salida disponga de una frecuencia en hercios diferente a la de entrada, no solo hay que utilizar un transformador, como se ha planteado anteriormente, sino que es necesario configurar un circuito de conmutación electrónica para convertir tanto la amplitud de la señal como para modificar su frecuencia.

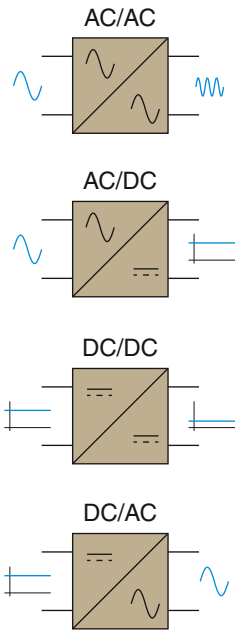



**Figura 7.3.** Representación de los tipos convertidores de potencia.

## 2.2. Convertidores AC-DC

Permiten convertir una señal de corriente alterna de entrada en una de corriente continua en su salida. Dentro de este grupo se encuentran los denominados rectificadores con diodos, como los que ya se han estudiado en unidades anteriores.

Pueden ser de dos tipos:

- Rectificadores no controlados, construidos a base de diodos.
- Rectificadores controlados, construidos a base de tiristores.

## 2.3. Convertidores DC-DC

Se utilizan para conseguir una señal de corriente continua partiendo de otra señal del mismo tipo, pero con características diferentes.

Dentro de esta categoría, se pueden incluir los reguladores de tensión estudiados hasta el momento a lo largo del libro, basados en Zener, transistores o circuitos integrados reguladores de tensión.

## 2.4. Convertidores DC-AC

También denominados onduladores o inversores, son los encargados de convertir una señal de corriente continua en otra de corriente alterna.

Su campo de aplicación se encuentra en:

- Sistemas de alimentación ininterrumpida o SAI.
- Gestión de motores de corriente alterna.
- Ondulación de señales DC procedentes de instalaciones fotovoltaicas.

# 3. Semiconductores de potencia

La principal característica de los semiconductores de potencia es su capacidad de controlar cargas con valores de tensión y corriente muy elevados.

Algunos de estos componentes ya se han estudiado anteriormente en este libro para controlar corrientes débiles, como son los diodos o los transistores, pero en este caso se estudiarán sus versiones para gestionar cargas de potencia.

Uno de los principales problemas de los semiconductores de potencia es que generan mucho calor cuando trabajan a plena carga. Por este motivo, es importante su correcta disipación mediante radiadores metálicos o ventilación forzada.

Los principales dispositivos semiconductores utilizados en electrónica de potencia son:

- Diodos de potencia.
- Transistores:
  - BJT de potencia.
  - Power MOSFET.
  - IGBT.
- Tiristores:
  - SCR.
  - GTO.
  - Triac.
  - Diac.

# 4. Diodos de potencia

Los diodos se utilizan en la electrónica de potencia con el mismo fin que en la electrónica de corrientes débiles. Es decir, tienen aplicación para la rectificación y construcción de fuentes de alimentación. Sin embargo, se diferencian de sus «hermanos pequeños» en que son construidos en formatos industriales de gran tamaño, cuya instalación se realiza sobre *racks* o disipadores de calor metálicos y no sobre placas de circuito impreso.

En la industria es habitual encontrarlos en dispositivos que permiten rectificar la corriente de sistemas trifásicos que trabajan con tensiones y cargas elevadas, como los utilizados para el control de motores eléctricos. En estas aplicaciones, no es tan importante el filtrado y la estabilización de la tensión de salida como el rendimiento del sistema. Este tipo de conversión puede hacerse mediante rectificadores de media onda u onda completa, obteniéndose en su salida una corriente con un rizado mucho menor que sus equivalentes monofásicos, debido a que la rectificación se hace sobre tres señales senoidales desfasadas entre sí 120 °.

**Figura 7.4.** Diferentes formatos de diodos de potencia industriales (cortesía Poweralia).

## 4.1. Rectificador de media onda trifásico

El rectificador trifásico de media onda consta de tres diodos, uno por fase, con el cátodo común conectado al positivo de la señal de salida. El negativo se toma de la conexión central del transformador trifásico, que corresponde con el neutro.

## 4.2. Rectificador de onda completa trifásico

El rectificador de onda completa trifásico requiere seis diodos conectados en puente, como se muestra en la figura.

Este rectificador tiene un rizado mucho menor que en el de media onda, debido a que todos los semiciclos de cada una de las fases del sistema trifásico son rectificados y convertidos en semiciclos de signo positivo.

### Recuerda

En un sistema trifásico las señales senoidales de cada una de las fases están desfasadas entre sí 120 °.

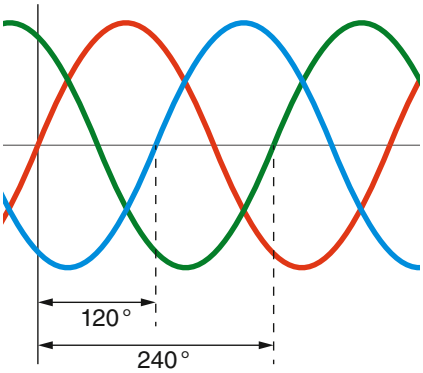



**Figura 7.5.** Desfase en sistema trifásico.

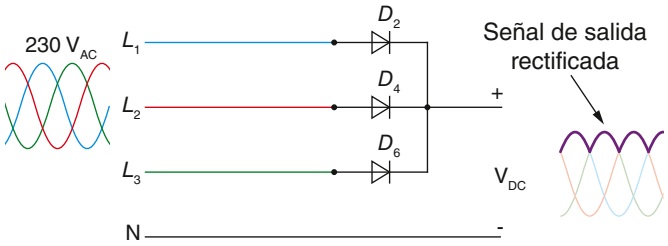



**Figura 7.6.** Rectificador trifásico de media onda.

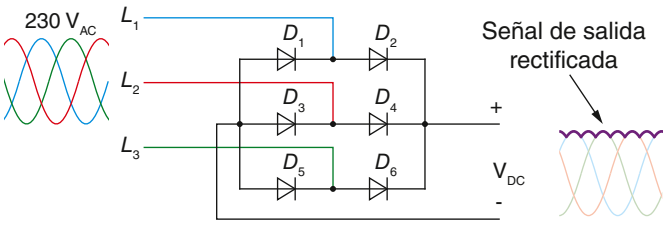



**Figura 7.7.** Rectificador trifásico de onda completa.

## Actividades

1. Utilizando un programa de simulación electrónica, comprueba el funcionamiento del rectificador trifásico de onda completa. Observa con un osciloscopio virtual la señal resultante a la salida del rectificador. ¿Cuál es el valor de tensión DC en ese punto?

   NOTA: para conseguir en las aplicaciones de simulación un sistema de alimentación trifásico en AC, es habitual tener que configurar tres fuentes monofásicas de corriente alterna, con la misma tensión y la misma frecuencia, conectadas como se muestran en la figura, y desfasarlas entre sí 120 °.

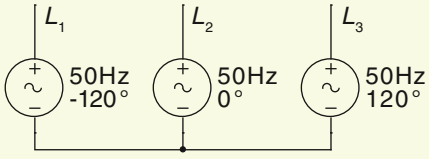



**Figura 7.8.** Simulación de un sistema trifásico de corriente alterna. Rectificador trifásico de onda completa.

# 5. Transistores

## Saber más

La forma de configurar los circuitos de potencia con transistores es idéntica a lo que ya se ha estudiado en la unidad 5, por lo que aquí no se va a volver a explicar su funcionamiento.

En la electrónica de potencia, los transistores se utilizan principalmente para controlar cargas por conmutación, que trabajan con valores de corriente y tensión elevados.

Los transistores de potencia pueden ser de tres tipos:

- BJT.
- Power MOSFET.
- IGBT.

Los del tipo MOSFET e IGBT son los más utilizados en la actualidad, debido a su fácil control, respecto a los BJT.

Los transistores de potencia presentan diferentes tipos de encapsulados y formatos. Algunos se conectan por la técnica de soldadura blanda en placas de circuito impreso, pero, otros, debido a las altas corrientes que deben soportar, se conectan mediante bornes por tornillo. Estos, en ocasiones, se presentan en formato de módulos, en los que se combinan con otros transistores o diodos para facilitar su integración en los sistemas que se quieren controlar.

**Figura 7.9.** Transistores de potencia.

## 5.1. El transistor bipolar de potencia

## Saber más

Muchas de las aplicaciones de los transistores de potencia consisten en ser utilizados en circuitos para sustituir a los contactores o relés.

El transistor bipolar BJT es económico respecto a los de otros tipos y permite la gestión de cargas elevadas, sin embargo, presenta una serie de inconvenientes que en la mayoría de las aplicaciones han sido sustituidos por los de tipo MOSFET o IGBT.

- Su conmutación es lenta respecto a los MOSFET e IGBT.
- Se controla en corriente.
- La tensión entre emisor y colector, incluso en modo de saturación completa, suele ser de varios voltios.
- Térmicamente es bastante inestable, ya que su ganancia varía con la temperatura.

A pesar de sus inconvenientes, el uso del transistor BJT está muy extendido en la electrónica de potencia que requiere controlar cargas no demasiado exigentes.

### 5.1.1. Aplicaciones de los transistores BJT en electrónica de potencia

A continuación, se muestran sencillos ejemplos de uso de este tipo de transistores para controlar cargas de pequeña potencia, como pueden ser pequeños motores DC.

## Circuito de conmutación de un motor DC

Este circuito utiliza un transistor NPN que funciona como interruptor, para controlar el funcionamiento de un motor con un solo sentido de giro.

La conmutación se realiza aplicando una señal a la base, que se encuentra polarizada mediante su correspondiente resistencia.

La conmutación de cargas inductivas requiere utilizar un diodo volante conectado en paralelo con la carga, para evitar que la conmutación destruya el semiconductor.

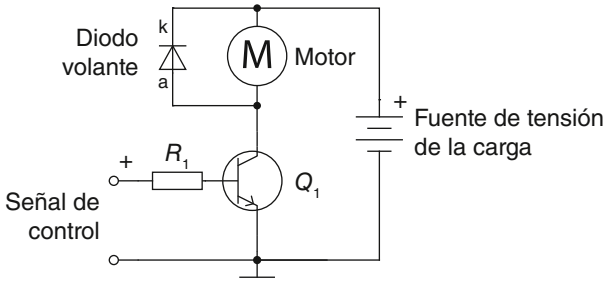



**Figura 7.10.** Esquema de control de potencia con un transistor BJT.

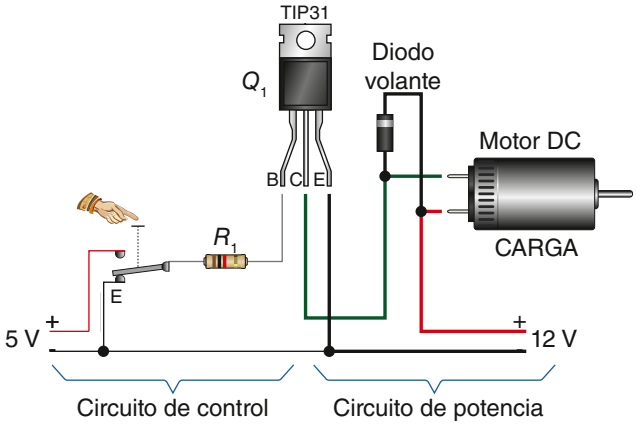



**Figura 7.11.** Circuito de ejemplo.

El uso de optoaisladores para controlar la corriente de la base evita que, por fallo o avería, exista un contacto eléctrico entre el circuito de potencia y el circuito de control.

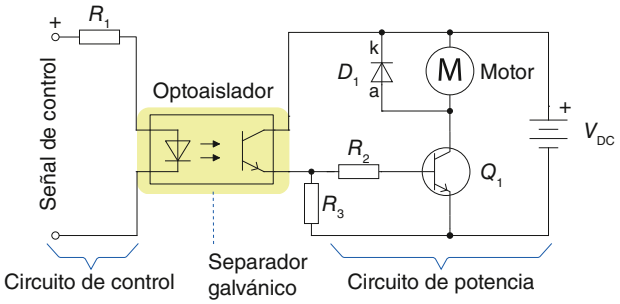



**Figura 7.12.** Circuito para el control de una carga de potencia con separación galvánica.

## Saber más

### En tu profesión

El aislamiento o separación galvánica impide el contacto eléctrico entre dos partes bien diferenciadas de un circuito, como puede ser la etapa de potencia de la etapa de señales de mando o control.

## Actividades

**2.** Monta sobre una placa de prototipos el circuito mostrado en la figura 7.12, para controlar un motor DC con un transistor NPN, mandado a través de optoacoplador transistorizado. Para alimentar el circuito necesitas dos fuentes de tensión: una de 12 V para alimentar el motor y otra de 5 V para controlar el disparo del optoacoplador.

Lista de materiales:

- $Q_1$: TIP 31
- $R_1$: 270 Ω
- $R_2$: 1 kΩ
- $R_3$: 10 kΩ
- $D_1$: 1N4007
- M: motor de 12 $V_{DC}$
- Optotransistor 4N35

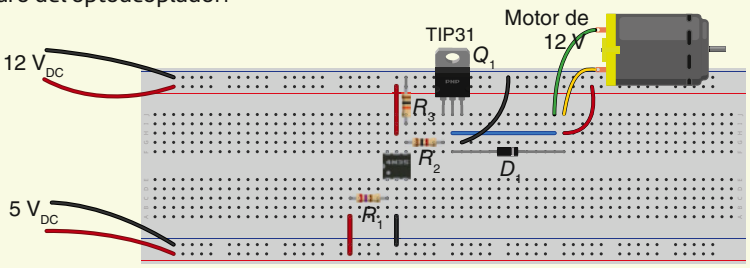



**Figura 7.13.** Montaje en placa *protoboard*.

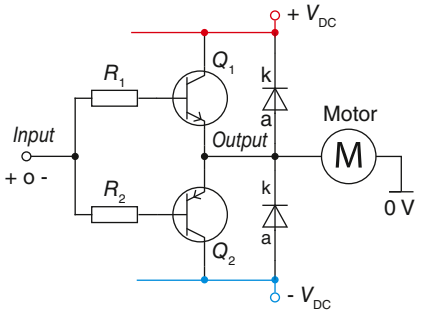



**Figura 7.14.** Circuito de dos transistores BJT en *push-pull* para invertir el sentido de giro de un motor DC.

## Inversión del sentido de giro de un motor DC con transistores BJT en *push-pull*

La inversión del sentido de giro de un motor DC de imanes permanentes se realiza cambiando la polaridad en sus terminales de alimentación. Así, si por medios electrónicos se consigue el mismo efecto desde el circuito de control, es posible invertir el sentido de giro en función de la polaridad aplicada a la etapa de potencia.

Una forma de realizar esta inversión de giro consiste en conectar dos transistores BJT en *push-pull* en un circuito que utiliza una fuente de alimentación simétrica (+V,0,-V). En este caso, el motor debe estar conectado a masa por uno de sus terminales, y al circuito de salida de los transistores por el otro:

- El motor gira en un sentido cuando el transistor NPN entra en conducción al ser polarizado positivamente, entregando un valor positivo de tensión en la salida de potencia.
- Por el contrario, el motor gira en sentido contrario cuando el transistor PNP entra en conducción al estar polarizado negativamente, entregando un valor negativo en la salida de la etapa de potencia.

De igual forma que en el circuito anterior, es necesario utilizar dos diodos volantes, uno por cada transistor, para evitar que las conmutaciones los destruyan.

## Seguridad

En el puente en H es necesario utilizar cuatro diodos para proteger los transistores de los picos de tensión producidos por la desconexión de las bobinas del motor.

## Puente H mediante transistores BJT

El circuito anterior tiene la ventaja de utilizar solamente dos transistores. Sin embargo, presenta el inconveniente de requerir una fuente de alimentación simétrica de potencia y dos transistores complementarios, uno PNP y otro NPN.

Si lo que se desea es realizar la inversión del sentido de giro de un motor DC con una fuente de alimentación simple, es decir, no simétrica, y con todos los transistores del mismo tipo, es necesario utilizar el circuito denominado puente en H.

El puente en H de la figura está formado con cuatro transistores bipolares NPN. En él, el sentido de la corriente y la polaridad está siempre controlado a través de dos de los transistores. De tal forma, si se polarizan los transistores $Q_1$ y $Q_4$ el motor gira en un sentido, y si se polarizan $Q_2$ y $Q_3$, el motor gira en sentido contrario, ya que se invierte el sentido de corriente y, por tanto, también se invierte la polaridad en los bornes del motor.

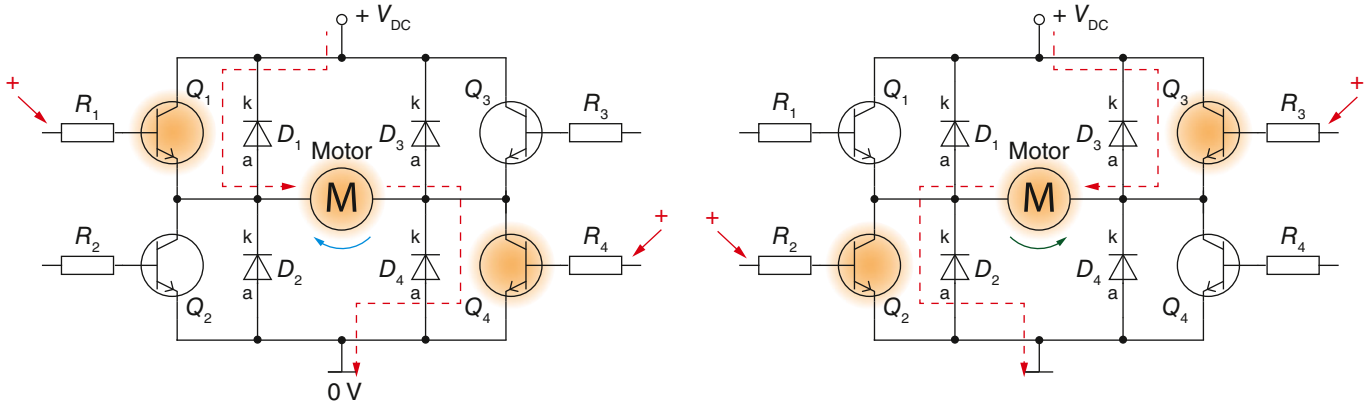



**Figura 7.15.** Puente en H con transistores BJT y funcionamiento de los transistores para invertir el giro de un motor DC.

## 5.2. El transistor MOSFET de potencia

Desde los años 70, los transistores MOSFET han ido sustituyendo de forma progresiva a los transistores bipolares en aplicaciones de electrónica de potencia, ya que son numerosas sus ventajas respecto a estos:

- Se controlan en tensión, en lugar de corriente, mediante el terminal de puerta G, lo que facilita su conmutación.
- Cuando se encuentra en conducción, la resistencia entre el drenador y la fuente es muy baja, por lo que no hay prácticamente pérdidas de tensión.
- Suelen disponer de un diodo integrado, denominado *damper*, que evita que el transistor se destruya por efectos de realimentación.
- Pueden trabajar hasta tensiones de 250 V.
- Se comportan muy bien con altas frecuencias (mayores de 200 kHz).

No obstante, a pesar de sus enormes ventajas respecto a los BJT, el transistor MOSFET presenta algunos inconvenientes, que han de ser tenidos en cuenta:

- Suelen ser más caros que sus equivalentes bipolares.
- Son sensibles a la electricidad estática, por lo que hay que tomar precauciones para que no se destruyan cuando se están manipulando.
- Tienen limitaciones para trabajar con corrientes superiores a 100 A, muy habituales en aplicaciones industriales.

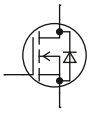
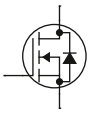
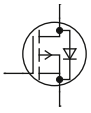
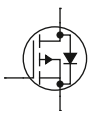
| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Transistor Power MOSFET de canal N con diodo |  |  | Q |
| Transistor Power MOSFET de canal P con diodo |  |  | Q |

**Tabla 7.1.** Transistor Power MOSFET.

### 5.2.1. Aplicaciones de los transistores MOSFET en electrónica de potencia

A continuación, se muestran algunos circuitos prácticos para experimentar con los transistores MOSFET en circuitos de electrónica de potencia.

#### Control de motores DC con MOSFET

La configuración de los circuitos para el control de motores DC con transistores MOSFET es similar a la estudiada anteriormente para los transistores BJT. La principal diferencia radica en que el control de los terminales de puerta (G) se hace en tensión y no en corriente, como ocurre en los BJT, facilitando así el diseño del circuito que los controla.

De igual forma que en otros circuitos de semiconductores que se utilizan para activar cargas inductivas, como pueden ser motores, es necesario proteger los transistores mediante diodos volantes, para evitar su destrucción por los picos de sobretensión que se producen en el momento de su desconexión.

En los esquemas, se muestra el control de un motor DC con transisotres MOSFET de canal N. Pero, de igual forma, se podrían usar los de canal P, teniendo en cuenta que su polarización y los sentidos de la corriente cambian.

### Saber más

En ocasiones, los transistores Power MOSFET se comercializan en formato de módulo, en combinación con otros componentes, como otros MOSFET o diodos, para facilitar su configuración en aplicaciones de potencia.

**Figura 7.16.** Módulo puente de MOSFET (cortesía CREE).

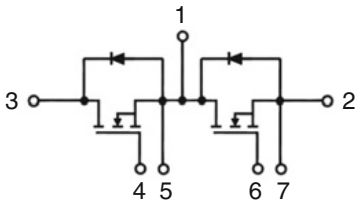



**Figura 7.17.** Esquema de módulo MOSFET (cortesía CREE).

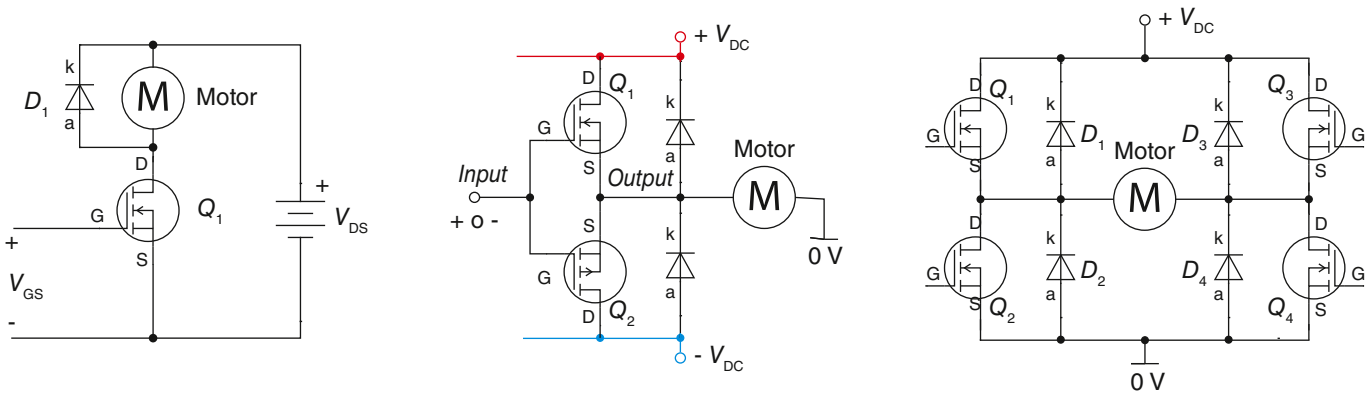



**Figura 7.18.** Control de un motor con transistores MOSFET: Circuito de base – Inversor de giro con alimentación simétrica – Puente en H.

## Vocabulary

- Rectificador: *rectifier*.
- Silicio: *silicon*.
- Potencia: *power*.
- Realimentación: *feedback*.
- Disipador de calor: *heatsink*.
- Aislado: *insulated*.
- Rectificador: *rectifier*.
- Controlado: *controlled*.
- Puerta: *gate*.
- Encender: *turn on*.
- Apagar: *turn off*.
- Conmutación: *witching*.
- Media onda: *half wave*.
- Onda completa: *full wave*.
- Convertidor de potencia: *power conveter*.
- Carga eléctrica: *electrical load*.
- Fuente eléctrica: *electrical source*.

### Inversor DC-AC con transitores MOSFET

Un inversor u ondulador es un circuito que permite convertir energía, partiendo de una fuente de corriente continua, en otra de corriente alterna.

Este tipo de circuitos se utiliza ampliamente en instalaciones de energía solar, en las que se requiere conectar en la red de corriente continua generada dispositivos o electrodomésticos que funcionan a 230 V de corriente alterna.

Para ello, se utiliza un circuito de conmutación basado en transistores, que convierte la señal DC en otra señal de tipo pulsante de onda cuadrada, que se eleva mediante un transformador para conseguir el valor de la tensión de salida adecuado para alimentar los receptores de alterna (230 V, por ejemplo).

La conmutación de los transistores, a través de sus terminales de puerta, se hace mediante un circuito oscilador para que trabaja a 50 Hz.

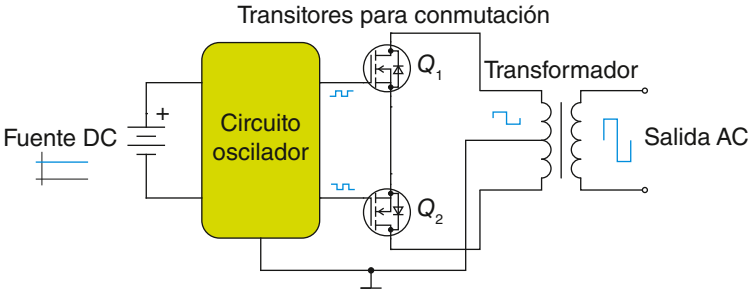



**Figura 7.19.** Inversor DC-AC con transistores MOSFET.

## Actividades

**3.** Utilizando un *software* de simulación electrónica, dibuja y comprueba el funcionamiento para la inversión del sentido de giro de un motor DC con dos transistores MOSFET, en un circuito alimentado mediante una fuente de alimentación simétrica.

La polarización positiva o negativa en los terminales G de ambos transistores se puede hacer mediante un conmutador de una vía y dos posiciones.

¿Cómo conectarías dos LEDs en el circuito, uno rojo y otro verde, para señalizar cada uno de los sentidos de giro del motor? Simúlalo.

Nota: Si el simulador no permite la animación dinámica del motor, se puede conectar un voltímetro en paralelo a él y comprobar cómo cambia el signo en la tensión de salida.

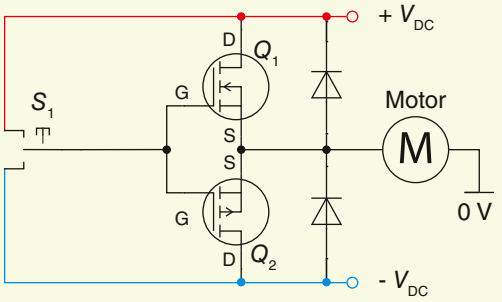



**Figura 7.20.** Circuito a simular para invertir el sentido de giro.

## Inversor trifásico para motores de inducción

Una aplicación industrial de los transistores MOSFET consiste en utilizarlos como inversores trifásicos para controlar y regular la velocidad de motores trifásicos de inducción en corriente alterna. En este caso, el circuito con transistores MOSFET es alimentado directamente desde un puente rectificador trifásico de potencia, el cual trabaja directamente con red trifásica de 230/400 V.

El control de los terminales de puerta (G) de cada uno de los MOSFET es controlado mediante microprocesador, a través de una señal sinusoidal modulada en pulso denominada SPWM, cuyo estudio se sale de los objetivos de este libro.

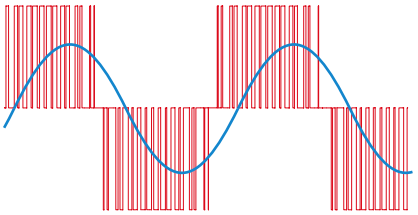


**Figura 7.21.** Señal para SPWM para control de motor de inducción con inversor trifásico.

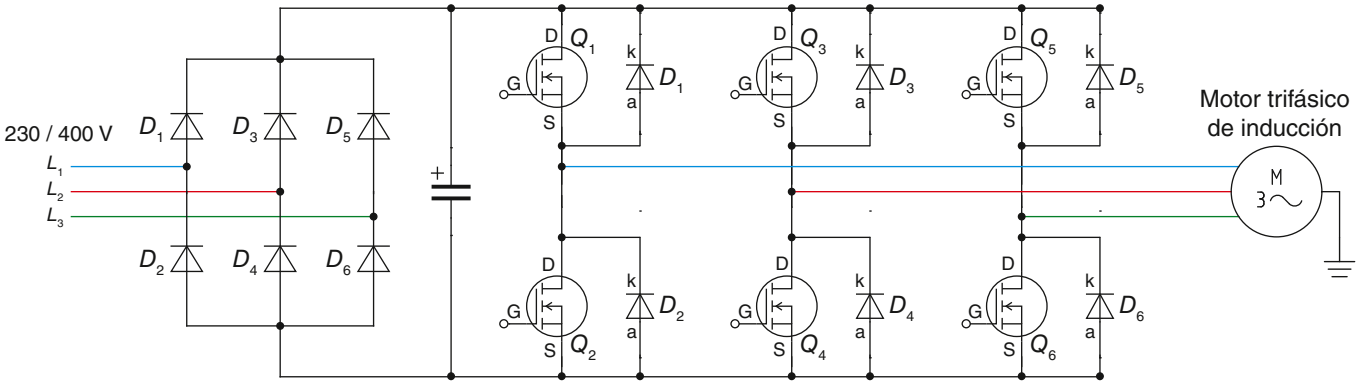



**Figura 7.22.** Inversor trifásico para el control de velocidad de motores de inducción basado en MOSFET.

Este circuito es en realidad un convertidor DC/AC, en el que, partiendo de una tensión en corriente continua, procedente del puente rectificador trifásico, se consigue energía en corriente alterna de tipo trifásico, la cual se puede modificar en amplitud y en frecuencia por medios electrónicos.

## Actividades

**4.** Simula el circuito de la figura y conecta un osciloscopio a la salida del transformador, en paralelo con la resistencia de carga. Realiza manualmente conmutaciones rápidas del conmutador $S_1$ y observa la señal resultante en el osciloscopio.

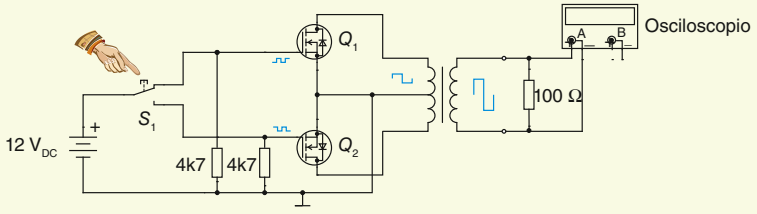



**Figura 7.23.** Simulación de inversor manual.

**5.** Simula el circuito para la inversión del sentido de giro de un motor DC con cuatro transistores MOSFET conectados en puente H. Pon el conmutador en una posición y observa cómo el motor gira en un sentido. Cambia la posición del conmutador, y observa cómo el motor gira en sentido contrario. ¿Por qué ocurre esto? ¿Qué misión tiene las resistencias de 4k7 en el circuito?

Nota: Si tu simulador no permite la animación dinámica del motor, se puede conectar un voltímetro en paralelo a él y comprobar cómo cambia el signo en la tensión de salida.

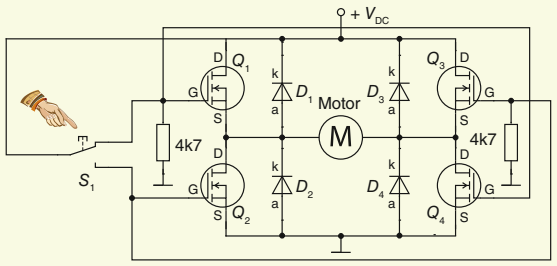



**Figura 7.24.** Simulación de puente H con MOSFET.

## Recuerda

Las patillas de un transistor IGBT se denominan B-Base, C-Colector y E-Emisor.

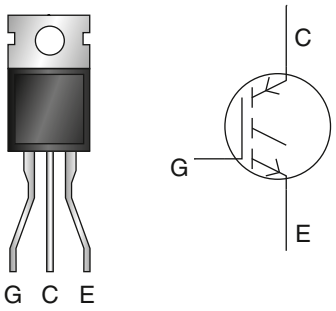



**Figura 7.25.** Terminales de un transistor IGBT.

## Recuerda

Características importantes de los transistores IGBT:

**$V_{GE(th)}$:** tensión de umbral aplicable en la puerta para que el transistor entre en conducción.

**$V_{GE}$:** tensión máxima a aplicar entre el terminal de puerta G y el emisor E.

**$V_{CES}$:** tensión máxima de trabajo del transistor entre el colector y el emisor.

**$I_C$:** corriente máxima en el colector.

# 5.3. Transistor IGBT

Este transistor es principalmente un interruptor o *switch*, que fue desarrollado en la década de los ochenta del siglo XX como un híbrido entre un transistor BJT y un MOSFET, aprovechando las ventajas de ambas tecnologías en un solo componente.

Así, un transistor IGBT se caracteriza por:

- Su rápida conmutación, que es más lenta que los MOSFET, pero más rápida que el BJT.
- Control de grandes cargas, que trabajan con altas tensiones y elevados valores de corriente, que no se pueden gestionar por los otros tipos de transistores.
- Facilidad de control mediante su terminal de puerta por tensión.

Todas estas ventajas han hecho que el transistor IGBT se haya convertido en el transistor «estrella» de los dispositivos industriales de estado sólido para controlar grandes cargas.

## 5.3.1. Aplicaciones de los transistores IGBT en electrónica de potencia

Los IGT se utilizan de forma similar a los MOSFET, pero para aplicaciones con cargas más elevadas. Así, los circuitos típicos para controlar cargas inductivas, como pueden ser motores, tienen una configuración análoga a las de otros tipos de transistores de potencia.

### El IGBT como interruptor

El transistor IGBT es ideal para trabajar como conmutador o *switch* en la industria, ya que permite controlar cargas de gran potencia. Se utiliza de forma similar a un MOSFET, ya que basta con polarizar de forma adecuada su terminal G para que el transistor entre en conducción.

En los transistores IGBT es importante consultar el dato $V_{GE}$ de la hoja de características, ya que indica la tensión máxima que se puede aplicar a la terminal de puerta sin que el transistor se destruya.

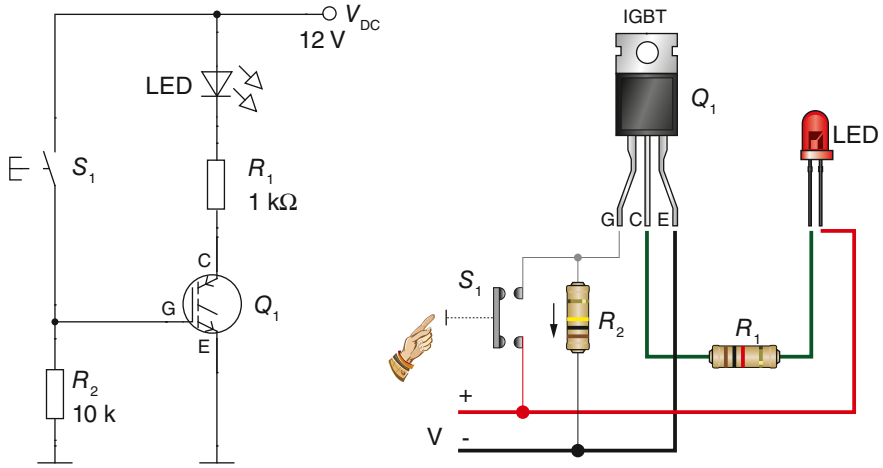



**Figura 7.26.** IGBT como interruptor para activar un LED.

## Actividades

**6.** Monta sobre una placa de prototipos el circuito de la figura 7.26 basado en un transistor IGBT y comprueba su funcionamiento. Para esta actividad puedes utilizar el transistor IRGP420U.

## Control de un motor DC con transistores IGBT

La conexión es similar a las ya estudiadas para los otros tipos transistores. En este caso, el motor se conecta entre el colector y el positivo de la fuente de tensión y se debe disponer de un diodo volante para evitar que se destruya en las maniobras de conmutación.

Una buena opción para invertir el sentido de giro de un motor DC, es utilizar los transistores en puente H, de forma que cuando conducen $Q_1$ y $Q_4$, el motor gira en un sentido, y si lo hacen $Q_2$ y $Q_3$, el motor gira en sentido contrario.

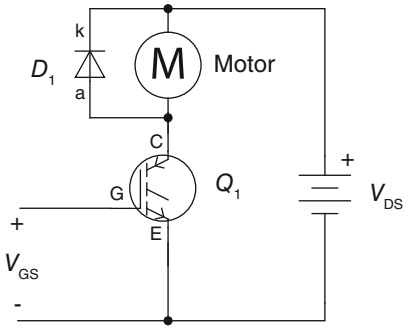



**Figura 7.27.** Control de un motor DC con IGBT.

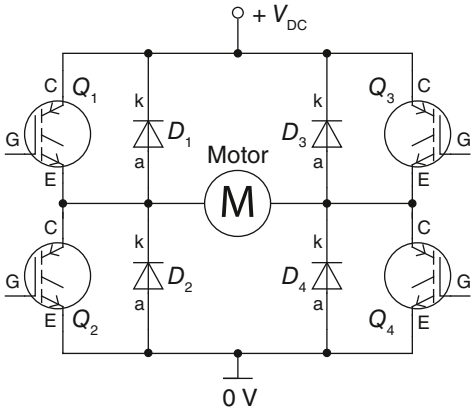



**Figura 7.28.** Puente en H con transistores IGBT.

## Control de un motor trifásico de inducción con IGBT

El equivalente de este circuito con transistores IGBT es idéntico al visto para los transistores MOSFET. Y, de igual forma que en él, la dificultad recae en el diseño del circuito necesario para excitar cada una de los terminales de puerta (G), y sincronizar el bloqueo y conducción de cada uno de los transistores.

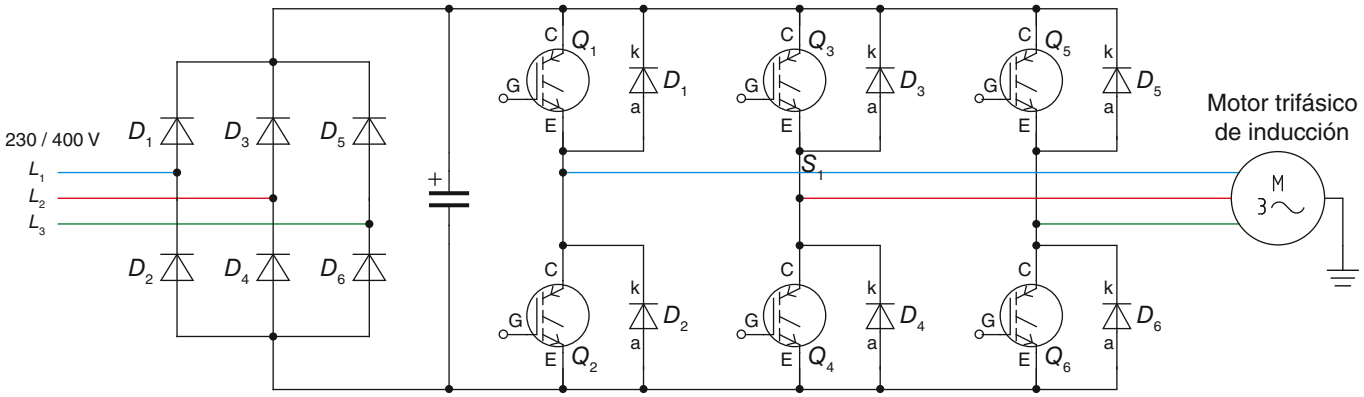



**Figura 7.29.** Inversor trifásico con transistores IGBT para controlar un motor trifásico de inducción.

Los inversores con transistores IGBT se utilizan para aplicaciones que requieren más potencia que los MOSFET.

## Actividades

**7.** Busca las hojas de características de varios transistores IGBT y anota las características nombradas a continuación de cada uno de ellos en tu cuaderno de trabajo.

- Transistores: IRGP420U, IRGBC20F, MMG05N60D, 2N6975, IXGH10N170A, IXGN100N170.
- Características que debes buscar: fabricante, conexión de los terminales, $V_{GE(th)}$, $V_{GE}$, $V_{CES}$, $I_C$, $V_{CE(sat)}$.

## Saber más

El primer tiristor fue desarrollado en el año 1956 y su estructura interna está basada en los diodos Schockley, que están constituidos por cuatro capas de material P-N.

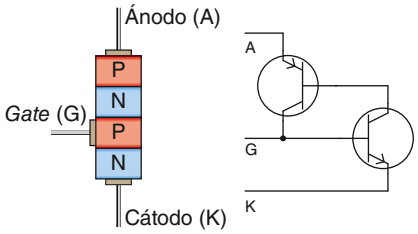



**Figura 7.30.** Composición de un tiristor y circuito equivalente.

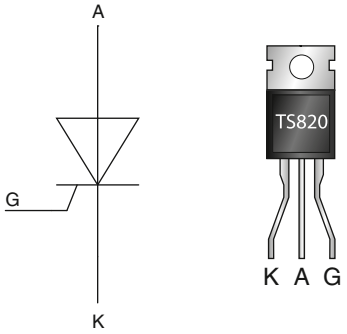



**Figura 7.31.** Identificación de terminales.

# 6. Tiristor

El tiristor es un dispositivo semiconductor que trabaja en conmutación y que es controlado mediante una corriente débil aplicada en uno de sus terminales.

La familia de tiristores está formada principalmente por los siguientes componentes:

- Tiristor SCR.
- Tiristor GTO.
- Triac.
- Diac.
- Variantes ópticos de algunos de ellos.

## 6.1. Tiristor SCR

Es un dispositivo semiconductor que permite conmutar cargas como si de un interruptor se tratase. La parte de potencia, que controla la carga, se comporta de forma similar a un diodo. Sin embargo, a diferencia de este, el tiristor dispone de un terminal o patilla denomina puerta o *gate*, que se utiliza para controlar a voluntad el paso o no de corriente, como lo haría un relé.

El tiristor también es conocido como rectificador controlado de silicio o SCR debido a su denominación en inglés *silicon controlled rectifier*.

El símbolo del tiristor es:

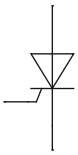
| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Tiristor SCR |  | | D |

**Tabla 7.2.** Tiristor SCR.

Un tiristor está formado por cuatro capas de material P-N, de forma que su circuito equivalente corresponde a la conexión de dos transistores, como se muestra en la figura 7.30.

Dispone de tres terminales denominados ánodo (A), cátodo (K) y puerta (G). El cátodo se polariza positivamente a través de la carga y el ánodo debe estar conectado al negativo de la fuente de tensión.

Se puede decir que un tiristor es un interruptor unidireccional de estado sólido, por lo que tiene dos estados: bloqueado (*OFF*), que impide el paso de la corriente, o activo (*ON*), que permite el paso de la corriente a través de él. En el primer caso, se comporta como un interruptor abierto, y en el segundo, como un interruptor cerrado.

Con un tiristor SCR es posible gestionar corrientes elevadas controlando su puerta G con una corriente muy baja.

## Actividades

**8.** Localiza en internet y descarga las hojas de características de los siguientes modelos de tirirtores:

TS820, BT151, VS-50RIA120, BT169G, BTW68, C106

¿Cuál es la tensión y la corriente máxima de trabajo en cada uno de ellos?

### 6.1.1. Funcionamiento en corriente continua del SCR

El tiristor SCR entra en conducción cuando se le aplica un pulso positivo en el terminal de puerta G respecto al ánodo. En esta situación, aunque desaparezca la señal de puerta, el tiristor continúa en conducción o cebado. Para que el tiristor deje de conducir, es necesario interrumpir momentáneamente el paso corriente por el cátodo ($S_2$ en la figura), o cortocircuitar temporalmente las patillas del ánodo y cátodo ($S_3$ en la figura). De esta forma, el semiconductor se desceba y vuelve al estado de bloqueo y sin conducción de corriente.

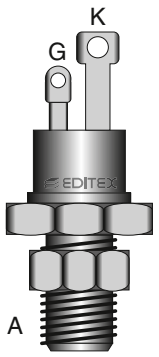



**Figura 7.32.** Identificación de los terminales de un tiristor de potencia.

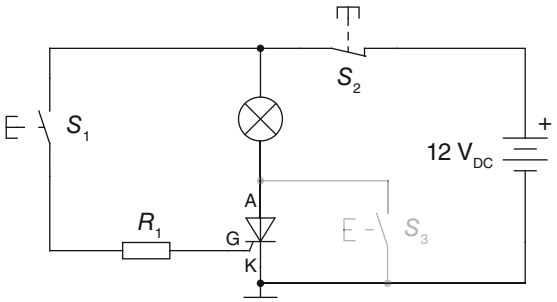



**Figura 7.33.** Circuito básico de un tiristor trabajando como interruptor en corriente continua.

### 6.1.2. Funcionamiento en corriente alterna del SCR

En un circuito alimentado por corriente alterna, el tiristor se comporta como un rectificador controlado y, por tanto, el resultado en la carga es una señal de corriente continua. En este caso, el tiristor conduce durante los semiciclos positivos y deja de hacerlo durante los ciclos negativos. Así, de forma contraria al funcionamiento visto en corriente continua, el tiristor se desceba de forma automática cuando la señal de alterna pasa por cero.

Si la señal aplicada en la puerta está en fase con la de la fuente de tensión AC, la potencia en la carga es completa. A medida que aumenta el desfase de la señal del terminal de puerta con respecto a la de la fuente de tensión, la potencia en la carga baja proporcionalmente. De esta forma, controlado el desfase de la puerta entre 0 y 180°, es posible recortar en mayor o menor medida los semiciclos rectificados y, por tanto, entregar una potencia variable en la carga.

## Recuerda

Principales características del tiristor:

**$I_{GT}$:** corriente de disparo de la puerta G.

**$V_{GT}$:** tensión de disparo de la puerta G.

**$I_H$:** corriente de mantenimiento. Es el valor de corriente en el terminal G del que se debe bajar para que el tiristor deje de conducir.

**$I_{máx}$:** corriente máxima que soporta el tiristor

**$V_{máx}$:** tensión máxima de trabajo.

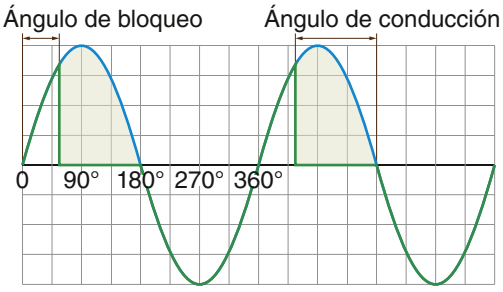



**Figura 7.34.** Control del ángulo de fase en tiristor.

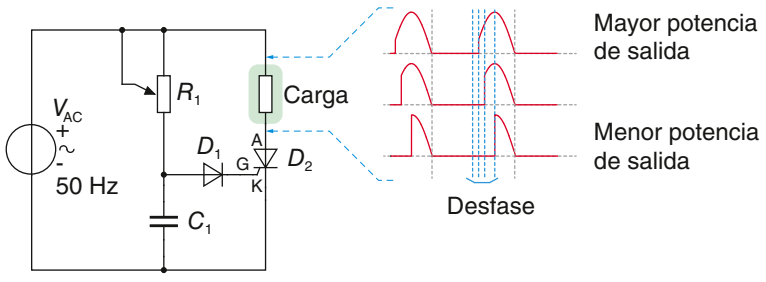



**Figura 7.35.** Circuito pasivo para el control de fase de un tiristor en CA.

A esta forma de trabajo del tiristor se la denomina «control de fase» y se utiliza para regular la luminosidad en lámparas incandescentes o variar la velocidad de motores eléctricos.

El control de fase se puede hacer por medios pasivos, a través de una resistencia y un condensador, o de forma más precisa, por medios activos, mediante transistores o algún dispositivo de disparo de tiristores.

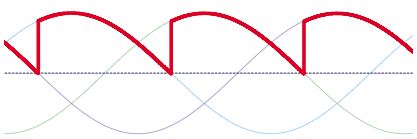


**Figura 7.36.** Señal resultante de un rectificador controlado trifásico.

## 6.1.3. Aplicaciones de los SCR

Una de las aplicaciones en las que más se utilizan los tiristores del tipo SCR es para el control de cargas de potencia mediante los denominados «rectificadores controlados de silicio».

### Rectificadores controlados

Se configuran en forma de puente, combinados o no con diodos, y pueden ser semicontrolados o totalmente controlados. Estos pueden diseñarse tanto para sistemas monofásicos como trifásicos.

Su uso está ampliamente extendido en aplicaciones industriales para el control y regulación de velocidad de motores eléctricos.

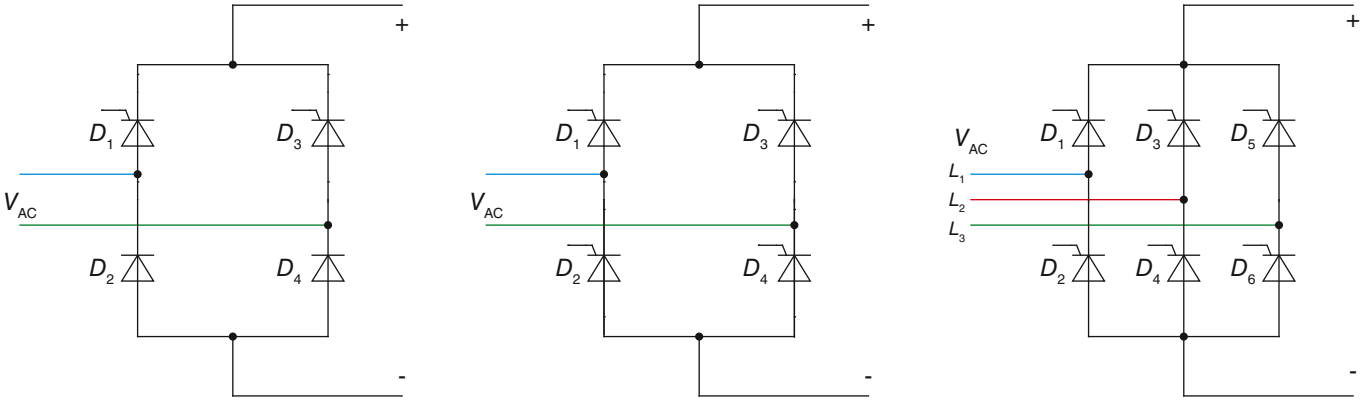



**Figura 7.37.** Rectificador monofásico semicontrolado. Rectificador monofásico totalmente controlado. Rectificador trifásico totalmente controlado.

En este tipo de rectificadores, la dificultad recae en sincronizar el control de fase de cada una de las puertas de los tiristores que intervienen en el circuito. Así, cuanto mayor sea el número de tiristores empleados, mejor control se tendrá de la señal de salida, pero más complejo es el circuito de disparo de los terminales de puerta para controlar el desfase.

## Actividades

**9.** Utilizando un programa de simulación electrónica, monta el circuito de la figura y observa las señales en los osciloscopios, en función de cómo se varía el valor del potenciómetro y, por tanto, el desfase de la señal en el terminal de puerta G del tiristor respecto a la de la alimentación.

Coloca un voltímetro DC en paralelo con la carga y comprueba cómo varía el valor de la tensión en función del desfase. ¿Cuáles son los valores máximo y mínimo que se puede conseguir?

Si el simulador lo permite, observa las dos señales en un mismo osciloscopio y compáralas entre sí. ¿Qué ocurre con los semiciclos negativos de la señal de alterna?

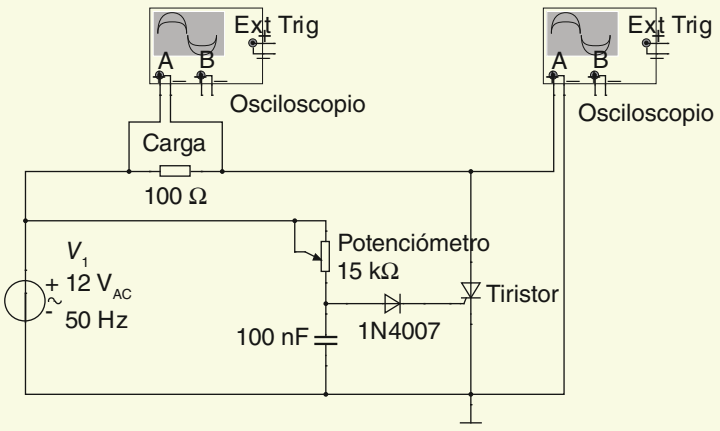



**Figura 7.38.** Circuito para simular el control de fase de un tiristor.

## 6.2. Tiristor GTO

El tiristor GTO nació para solucionar los inconvenientes que presentan los SCR de mantenerse cebados o en conducción, a pesar de retirarse corriente de control del terminal de puerta.

Así, en este tipo de tiristores, cuando al terminal G se le aplica una tensión de valor positivo respecto al cátodo, el tiristor entra en conducción, permaneciendo en esta situación hasta que se aplica una tensión de valor negativo en el mismo terminal.

El símbolo de este tiristor es el siguiente:

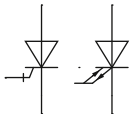
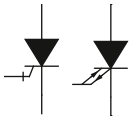
| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Tiristor GTO (dos formas) |  |  | D |

**Tabla 7.3.** Tiristor GTO.

Y su circuito de control básico:

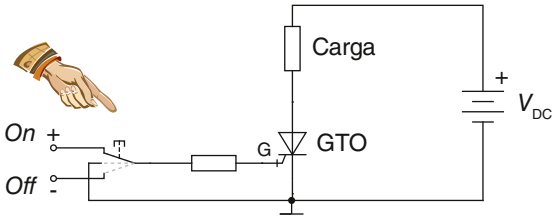



**Figura 7.39.** Control de un GTO.

## 6.3. Triac

Un Triac es el equivalente dos tiristores conectados en antiparalelo, en los cuales los terminales de puerta G se encuentran unidos en un mismo punto y se controlan a la vez.

El Triac es ideal para controlar cargas en corriente alterna, ya que permite el paso tanto de los semiciclos positivos como lo negativos.

Se puede decir que un Triac es un interruptor de estado sólido para corriente alterna, que dispone de tres terminales, denominados A1, A2 y G, y cuyo símbolo es el siguiente:

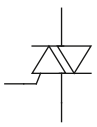
| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Triac |  | | D |

**Tabla 7.4.** Triac.

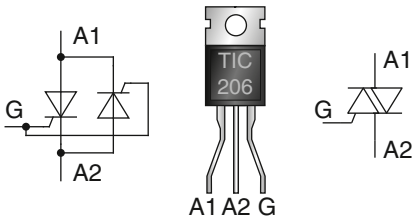



**Figura 7.40.** Circuito equivalente e identificación de patillas de un Triac.

### Saber más

GTO viene del inglés *gate turn-off thyristor*, que significa tiristor de apagado por puerta.

Su sencillo control de puerta los hace ideales para el control de cargas, como motores eléctricos, mediante conmutación.

### 6.3.1. El Triac como interruptor

Para hacer funcionar el Triac como interruptor basta polarizar el terminal de puerta con los valores de tensión y corriente que dicta el fabricante en su hoja de características.

La carga a conectar siempre debe ser de corriente alterna, sin embargo, el disparo de la puerta se puede hacer tanto en alterna como en continua. En ambos casos el tiristor solamente pasa al estado conducción cuando la puerta está activada, y al modo de bloqueo cuando la puerta deja de hacerlo.

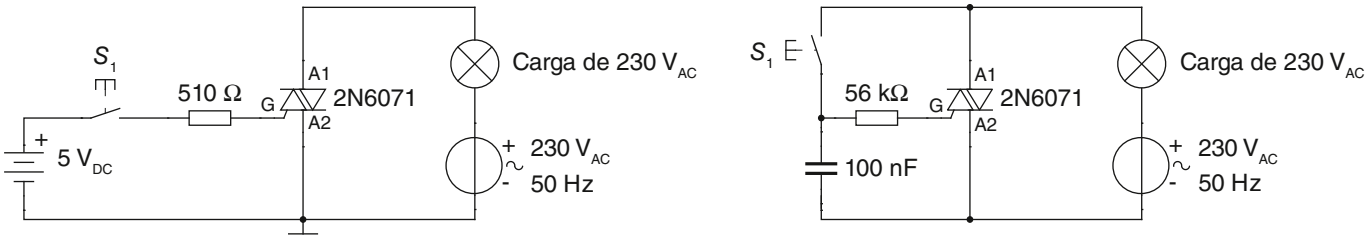



**Figura 7.41.** Triac en conmutación: controlado con corriente continua (izq.) y controlado con corriente alterna (dcha.).

### 6.3.2. Control de fase de un Triac

En el Triac, al ser un interruptor bidireccional, el control de fase se hace en ambas semiondas, pudiéndose regular la potencia de las cargas que funcionan en corriente alterna, de forma similar a como se hace con el SCR en corriente continua.

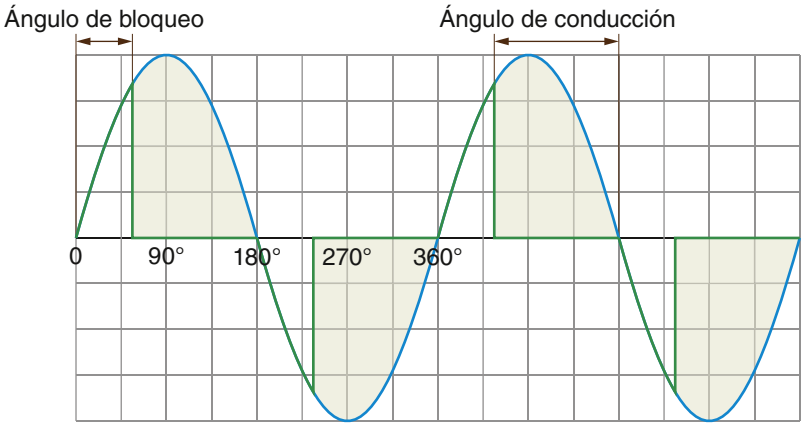



**Figura 7.42.** Ángulo de conducción de un Triac.

La forma más sencilla para controlar el ángulo de conducción es utilizando un circuito de tipo pasivo de resistencias y condensadores, donde el ajuste se hace mediante un potenciómetro o resistencia ajustable.

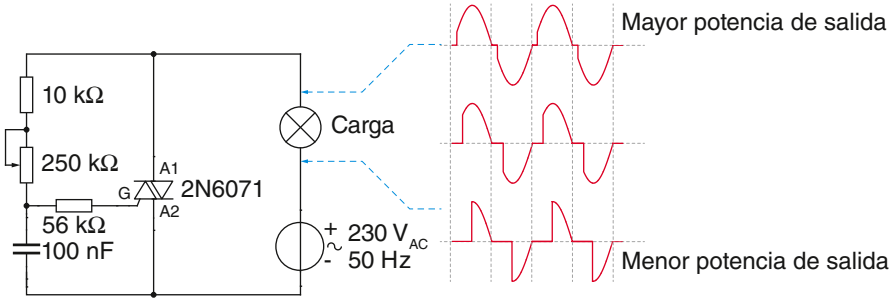



**Figura 7.43.** Circuito pasivo para el control de fase o ángulo de conducción de un Triac.

## Saber más

Al contrario que en un tiristor, un Triac no se mantiene cebado aunque por el terminal G deje de pasar corriente, ya que al estar la carga conectada a una fuente de corriente alterna cualquiera de los ánodos son desconectados cuando la señal sinodal pasa por cero.

## Saber más

Los Triac se han estado utilizando durante años para la construcción de reguladores de luminosidad o *dimmers* de lámparas incandescentes. En la actualidad, tiene gran aplicación para la regulación de velocidad en motores universales de electrodomésticos.

## 6.4. Diac

Un Diac es un dispositivo semiconductor de la familia de los tiristores, cuyo circuito equivalente corresponde con dos diodos conectados en antiparalelo. Dispone de dos terminales sin polaridad que normalmente se denominan A1-A2.

Se puede considerar como un interruptor bidireccional, que no entra en conducción hasta que se ha superado su tensión de disparo, que suele ser de 30 V.

**Figura 7.44.** Diac.

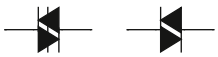
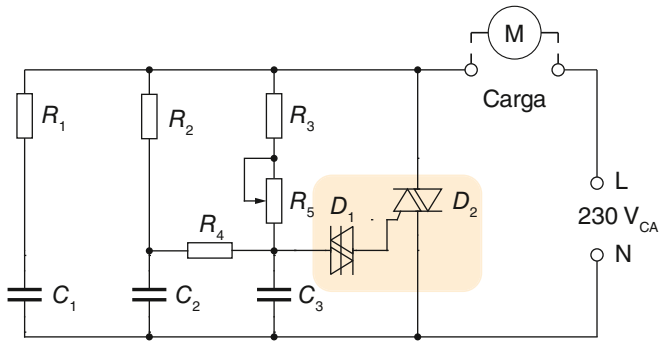
| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Diac | |  Dos formas | D |

**Tabla 7.5.** Diac.

El Diac se utiliza para gestionar el ciclo de disparo de la puerta de los Triac y, por tanto, se conecta en serie con este terminal, pudiéndose emplear tanto en circuitos de control de fase como en circuitos que utilizan el Triac como interruptor.




Componentes:
$R_1$: 100 Ω
$R_2$: 100k
$R_3$: 68k
$R_4$: 47k
$R_5$: 470k (Pot)
$C_1$: 10 nF/400 V
$C_2$: 100 nF/400 V
$C_3$: 47nF/400 V
$D_1$: Diac
$D_2$: Triac BT137

**Figura 7.45.** Circuito regulador con Triac y control de puerta con Diac.

## 6.5. Optodiac

Es un optoacoplador que se presenta en formato DIL *(dual in-line package)* y permite optoaislar el circuito de control de un Triac de su etapa de potencia.

Dispone de un LED emisor de luz que debe ser polarizado mediante una resistencia. Así, cuando dicho LED es alimentado y emite luz, el optodiac conduce, activando el terminal G del Triac y, por tanto, la carga conectada a él.

El siguiente circuito muestra un ejemplo de un optoaislador basado en Diac que conmuta un Triac para controlar una carga a 230 $V_{CA}$, mediante un circuito de mando de 5 $V_{DC}$.

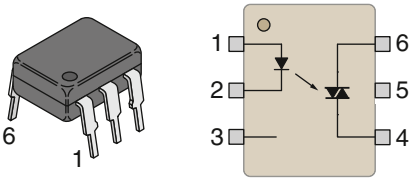



**Figura 7.46.** Encapsulado y patillaje del optodiac MOC3011.

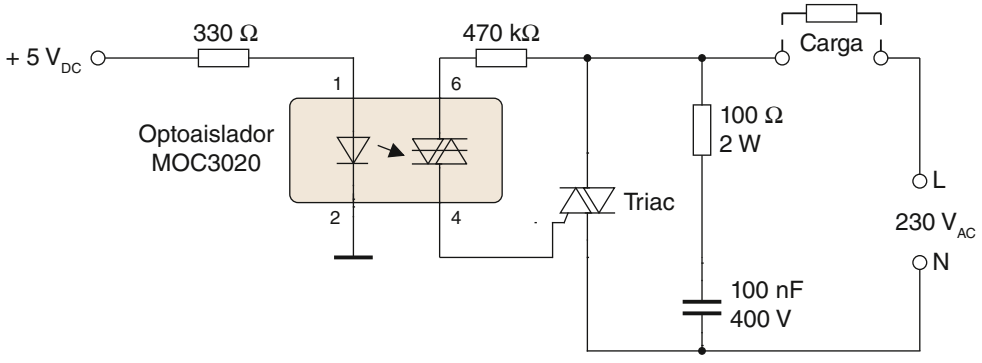



**Figura 7.47.** Circuito de disparo de un Triac con un optodiac controlado con 5 $V_{DC}$.

# PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA

## Herramientas

- Tijera
- Pinzas
- Alicates

## Material

- Placa de prototipos
- Cablecillos para placa de prototipos
- Una resistencia de 470 Ω
- Una resistencia de 1000 Ω
- Un diodo LED
- Un tiristor BT151 o similar
- Una fuente de tensión de corriente continua de 12 V
- Dos pulsadores NO para placa de circuito impreso
- Un pulsador NC para placa de circuito impreso

# Uso de un tiristor SCR como conmutador

## Objetivo

Comprobar cómo se conmuta un tiristor SCR para activar LED.

## Precauciones

- Identificar los terminales del puente de diodos y no conectar los de alterna en continua, y viceversa.
- Respetar la polaridad de los condensadores electrolíticos.
- Ajustar la sonda de prueba del osciloscopio.
- No manipular los terminales del transformador cuando está conectado a la red eléctrica.

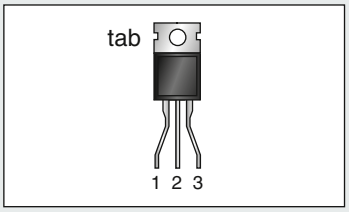
## Desarrollo

1. Descarga de internet la hoja de características del tiristor utilizado en el montaje. En nuestro caso, se trata del BT151.
2. Identifica cada una de las patillas de dicho tiristor.

**PINNIG /TO220AB**

| PIN | Description |
|---|---|
| 1 | cathode |
| 2 | anode |
| 3 | gate |
| tab | anode |

**PIN CONFIGURATION**




**SYMBOL**

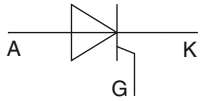



**Figura 7.48.** Identificación de terminales del tiristor BT151.

3. Observa el circuito que vas a montar.

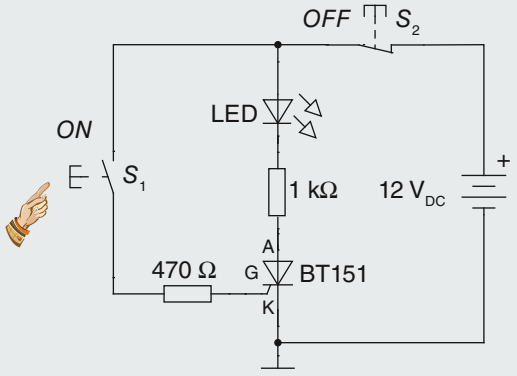



**Figura 7.49.** Circuito para probar.

4. Monta todos los componentes en una placa de prototipos. Si no dispones de los pulsadores $S_1$ y $S_2$, la conmutación *ON* y la conmutación *OFF* puedes hacerla conectando y desconectando los cables manualmente.
5. Realiza el cableado entre los componentes.

6. Alimenta el circuito con una fuente de tensión de 12 $V_{DC}$.

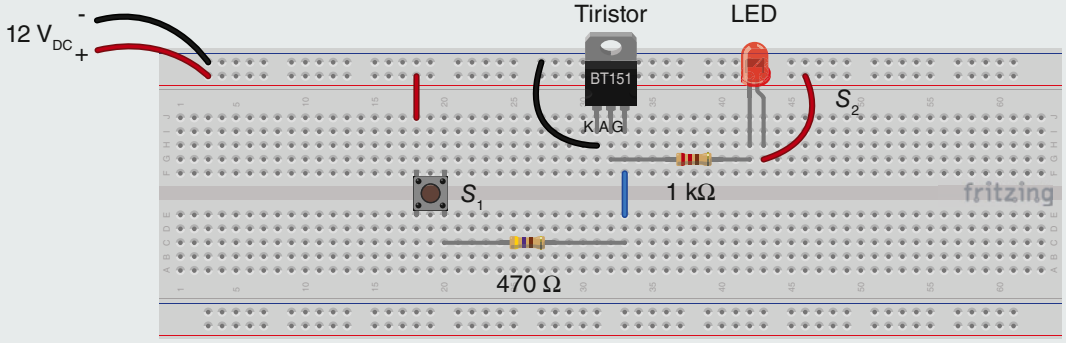



**Figura 7.50.** Circuito en placa de prototipos (realizado con el *software* Fritzing).

7. Acciona el pulsador $S_1$ o toca el cable de la resistencia con el positivo de la fuente de tensión.

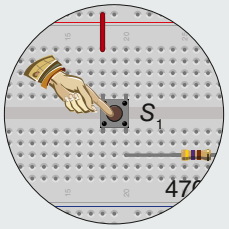



**Figura 7.51.** Acción de activación.

8. Observa que el LED se enciende y se mantiene en ese estado aunque cese la acción sobre el pulsador.
9. Acciona el pulsador $S_2$, o suelta el positivo de la fuente de alimentación, y observa que el LED se apaga.

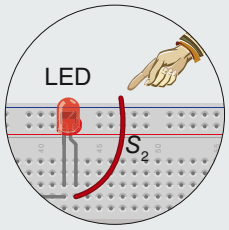



**Figura 7.52.** Acción de desactivación o descebado del SCR.

10. Comprueba la otra forma de descebar el tiristor, que consiste en cortocircuitar los terminales A y K. Para ello, puedes utilizar un pulsador con el contacto normalmente abierto, similar a $S_1$, o un pequeño cable.
11. Enciende de nuevo el LED accionando $S_1$.
12. Desceba el tiristor puenteando entre los terminales A y K.

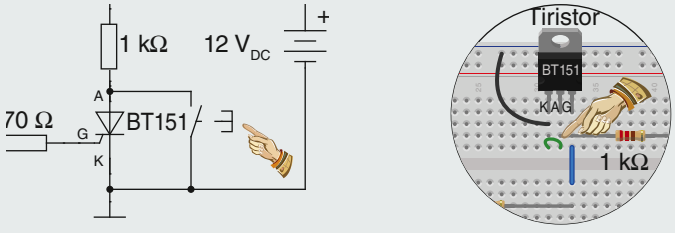



**Figura 7.53.** Otra forma de descebar el tiristor cortocircuitando los terminales A y K.

# TEST DE EVALUACIÓN

RESUELVE EN TU CUADERNO O BLOC DE NOTAS

**1. Un convertidor AC-AC puede ser:**

a) Un transformador.
b) Una fuente de alimentación.
c) Un ondulador.
d) Un filtro de señal.

**2. Un convertidor DC-AC transforma:**

a) Una señal de corriente alterna en otra similar de más frecuencia.
b) Un señal de corriente alterna en una de corriente continua de similares características.
c) Una señal de corriente continua en otra de corriente alterna.
d) Una señal de corriente continúa en otra de corriente continua de más frecuencia.

**3. ¿Cuál de estos componente no es un transistor?**

a) BJT.
b) MOSFET.
c) IGBT.
d) GTO.

**4. Un rectificador no controlado trifásico utiliza:**

a) Tres diodos y tres tiristores.
b) Tres tiristores y tres Triac.
c) Seis diodos.
d) Seis tiristores.

**5. ¿Cuál de estas características no es propia de los transistores IGBT?**

a) Se controlan por corriente en el terminal de puerta.
b) Dispone de tres terminales denominados puerta, emisor y colector.
c) Se controla por tensión en el terminal de puerta.
d) Controlan cargas de gran potencia.

**6. ¿Cuál es el principal modo de funcionamiento de los dispostivos de electrónica de potencia?**

a) Amplificación.
b) Ganancia.
c) Realimentación.
d) Conmutación.

**7. Un SCR es:**

a) Un transistor de potencia.
b) Un diodo controlado.
c) Un diodo no controlado.
d) Un tipo de IGBT.

**8. Un puente se utiliza para:**

a) Proteger los circuitos electrónicos contra sobretensiones.
b) Invertir el sentido de giro de los motores de corriente alterna.
c) Invertir el sentido de giro de los motores de corriente continua.
d) Frenar los motores DC.

**9. Los terminales de un tiristor se denominan:**

a) B-E-C.
b) G-E-C.
c) G-S-D.
d) G-A-K.

**10. El control por de ángulo de fase en un Triac se utiliza para:**

a) Controlar la potencia en una carga de corriente alterna.
b) Activar un dispositivo de corriente alterna mediante corriente continua.
c) Invertir el sentido de giro de un motor DC.
d) Regular la velocidad de un motor AC.

# ACTIVIDADES FINALES

**1.** Localiza en internet los siguientes diodos de potencia, busca su hoja de características y completa la siguiente tabla en tu cuaderno de trabajo.

| Modelo | Fabricante | Foto | Tensión máx. | Corriente máx. |
|---|---|---|---|---|
| W8405ZC120 | ..... | | ..... | ..... |
| SKN 240/12 | ..... | | ..... | ..... |
| SKD 210/16 | ..... | | ..... | ..... |
| DSS2x101-02A | ..... | | ..... | ..... |
| DSEI8-06A | ..... | | ..... | ..... |

**2.** Utilizando un programa de simulación electrónica, dibuja y comprueba el funcionamiento de un rectificador trifásico de media onda.

a) Conecta un osciloscopio en paralelo con la carga y observa la señal de salida.

b) Conecta un voltímetro de corriente continua en paralelo con la carga y comprueba el valor en voltios que hay en ella.

c) Si el osciloscopio del simulador lo permite, observa una o más de las señales de salida en corriente alterna del sistema trifásico de alimentación, a la vez que la señal rectificada.

**Nota:** La fuente trifásica de corriente alterna se configura con tres fuentes monofásicas, con la misma tensión y frecuencia en Hz, pero desfasadas entre sí 120°.

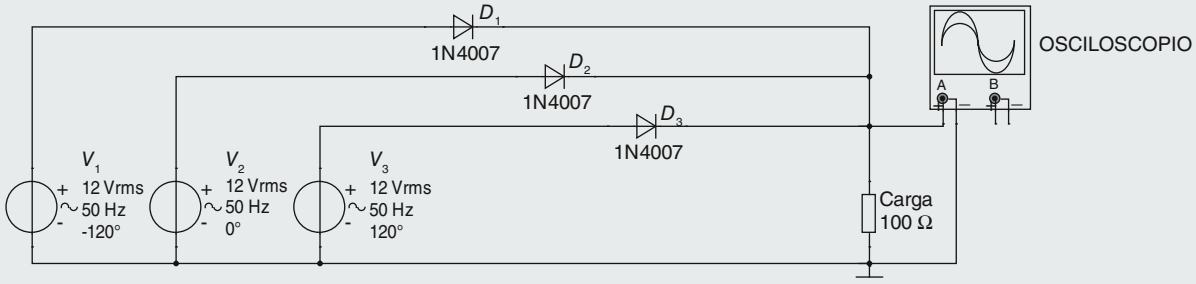



**Figura 7.54.** Simulación de rectificador de media onda trifásico.

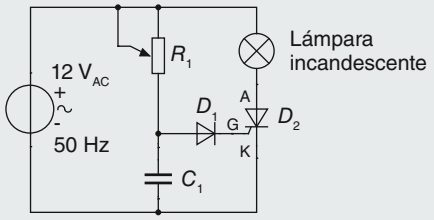
**3.** En el circuito de la actividad anterior, sustituye el pulsador $S_1$ por una LDR y comprueba su funcionamiento para controlar el motor mediante la luz que recibe la resistencia LDR. Dibuja el esquema del circuito y compáralo con el de tu compañero.

**4.** Sobre una placa de prototipos, comprueba el funcionamiento de un circuito de transistores BJT en conexión *push-pull* para invertir el sentido de giro de un motor DC. ¿Qué harías para señalizar mediante diodos LED el sentido de giro de motor? Dibuja el esquema del conjunto.

**5.** Siguiendo el desarrollo de la actividad profesional número 2 de esta unidad, monta sobre una placa de prototipos un puente H, pero utilizando en esta ocasión transistores IGBT, para invertir el sentido de giro de un motor DC. Dibuja previamente el esquema del circuito que vas a montar.

# ACTIVIDADES FINALES

**6.** Monta sobre una placa de prototipos el circuito de la figura para el control de fase de un tiristor. ¿Qué ocurre con la lámpara cuando se actúa sobre el potenciómetro? Conecta un osciloscopio en paralelo con la carga y observa la señal resultante. Conecta la sonda del osciloscopio entre el ánodo del tiristor y el cátodo, y observa la señal que se obtiene. ¿Qué relación tiene con la anterior?




Leyenda:
$R_1$: 15k
$C_1$: 100nF
$D_1$: 1N4004
$D_2$: Tiristor C106 o equivalente

**Figura 7.55.** Control de fase de un tiristor.

**7.** Monta el siguiente circuito en una placa de prototipos. Dicho circuito permite regular la luminosidad de una lámpara incandescente, por tanto, no es posible utilizar una de otro tipo. En ningún caso debes manipular el circuito cuando esté conectado a la red eléctrica, ya que trabajar con tensiones elevadas de 230 V, puede ser peligroso e incluso mortal. Fija el potenciómetro en algún recipiente aislante, como puede ser una placa de plástico, para poderlo manipular con seguridad.

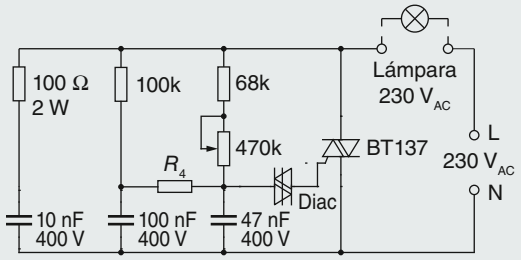



**Figura 7.56.** Circuito regulador (*dimmer*) con Triac.

¡PELIGRO!
El trabajo con tensión a 230 V puede ser peligroso e incluso mortal.

**8.** Monta el siguiente circuito en una placa de prototipos. Respeta las pautas de seguridad de la actividad anterior cuando el circuito estén en funcionamiento y alimentado de la red eléctrica.

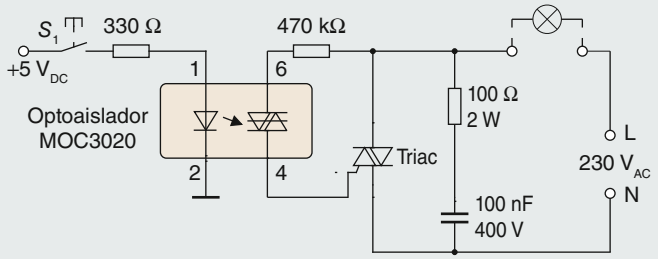



**Figura 7.57.** Interruptor basado en Triac con optoaislador.

¡PELIGRO!
El trabajo con tensión a 230 V puede ser peligroso e incluso mortal.

**9.** Utilizando un *software* de simulación electrónica, comprueba el funcionamiento del circuito de la figura para el control de fase de un Triac. Coloca un osciloscopio en paralelo con la carga y observa la señal resultante.

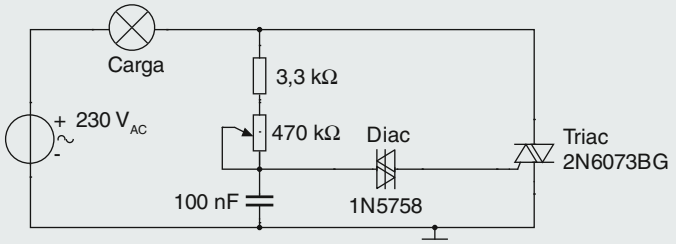



**Figura 7.58.** Circuito para la simulación del control de fase de un Triac.

# PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 1

## Herramientas

- Polímetro con modo diodo

## Material

- Un tiristor (por ejemplo, TIC 206)
- Cables con pinzas de cocodrilo

# Comprobación de un tiristor con polímetro

## Objetivo

Comprobar el estado de un tiristor SCR con el polímetro en modo «diodo».

## Precauciones

- Identificar los terminales del tiristor.
- Conectar las puntas de prueba del polímetro con la polaridad correcta.
- Conmutar el selector del polímetro en modo diodo.

## Desarrollo

1. Identifica los terminales del tiristor y pon la punta de prueba roja (+) en el ánodo y la negra (-) en el cátodo. En esta situación el polímetro no debe marcar nada (1).
2. Sin soltar las puntas de prueba de la posición anterior, puentea el terminal G con el positivo de polímetro (2).
3. Si el tiristor está bien, debe entrar en conducción y el polímetro debe mostrar una medida en su pantalla.
4. Si se retira el terminal G del positivo del polímetro, como el tiristor se ha cebado, la pantalla debe seguir marcando el valor mostrado anteriormente (3).

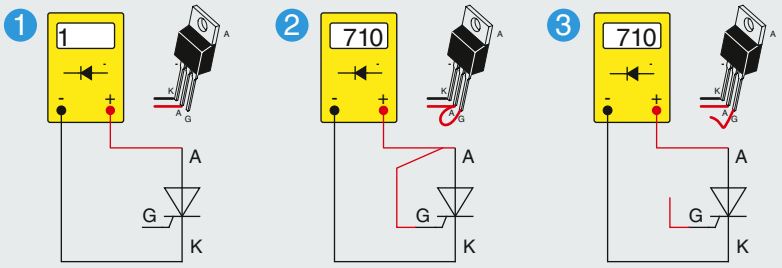



**Figura 7.59.** Cebado del tiristor.

5. Suelta las puntas de prueba de los terminales del tiristor y conecta ahora el rojo al terminal K y el negro al terminal A (4) y comprueba que el polímetro no marca nada.
6. Repite la operación de puentear el terminal G con el positivo del polímetro y comprueba que en dicho estado tampoco existe medida en la pantalla, ya que el tiristor está polarizado en inversa y es imposible su cebado.

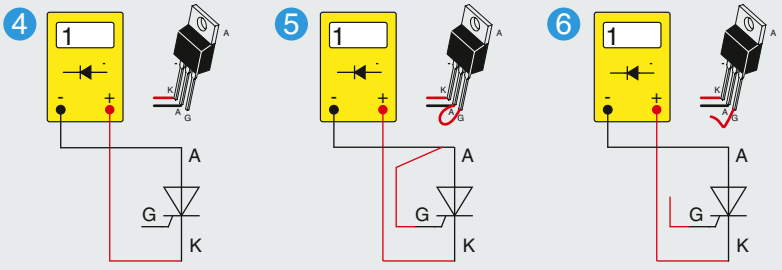



**Figura 7.60.** Tiristor polarizado en inversa.

**Nota:** Si la comprobación no se ajusta a lo que aquí se ha visto, significa que el tiristor está dañado o defectuoso.

# PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 2

## Herramientas

- Herramientas de electricista

## Material

- Una fuente de alimentación
- Cuatro transistores NPN (TIP31 o equivalentes)
- Cuatro diodos 1N4007
- Un motor de 6 VDC
- Un conmutador de una vía dos posiciones (opcional)
- Cuatro resistencias de 1k
- Cablecillos para placa de prototipos

## Puente en H con transistores BJT

### Objetivo

Comprobar el funcionamiento de un puente en H con transistores BJT para invertir el sentido de giro de un pequeño motor DC.

### Precauciones

- Identificar adecuadamente los terminales de los transistores antes de conectarlos a la placa de prototipos.

### Desarrollo

1. Observa el esquema que vas a montar.

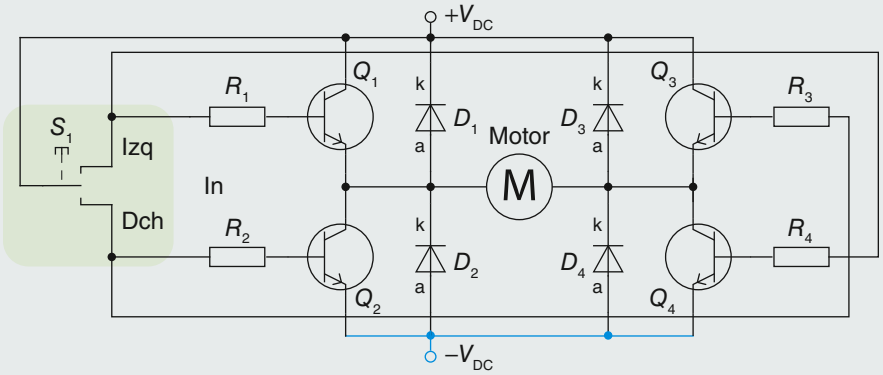



**Figura 7.61.** Esquema de un puente H con transistores BJT.

2. Monta el circuito en una placa de prototipos.

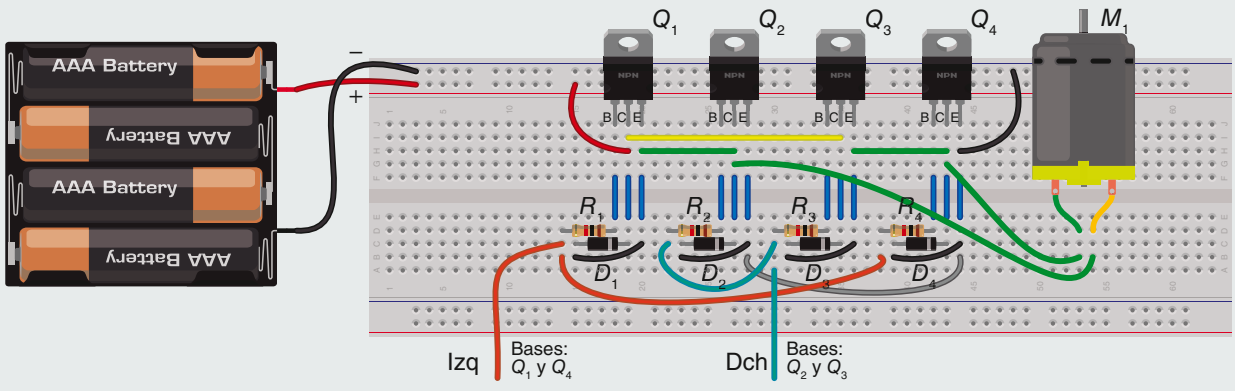
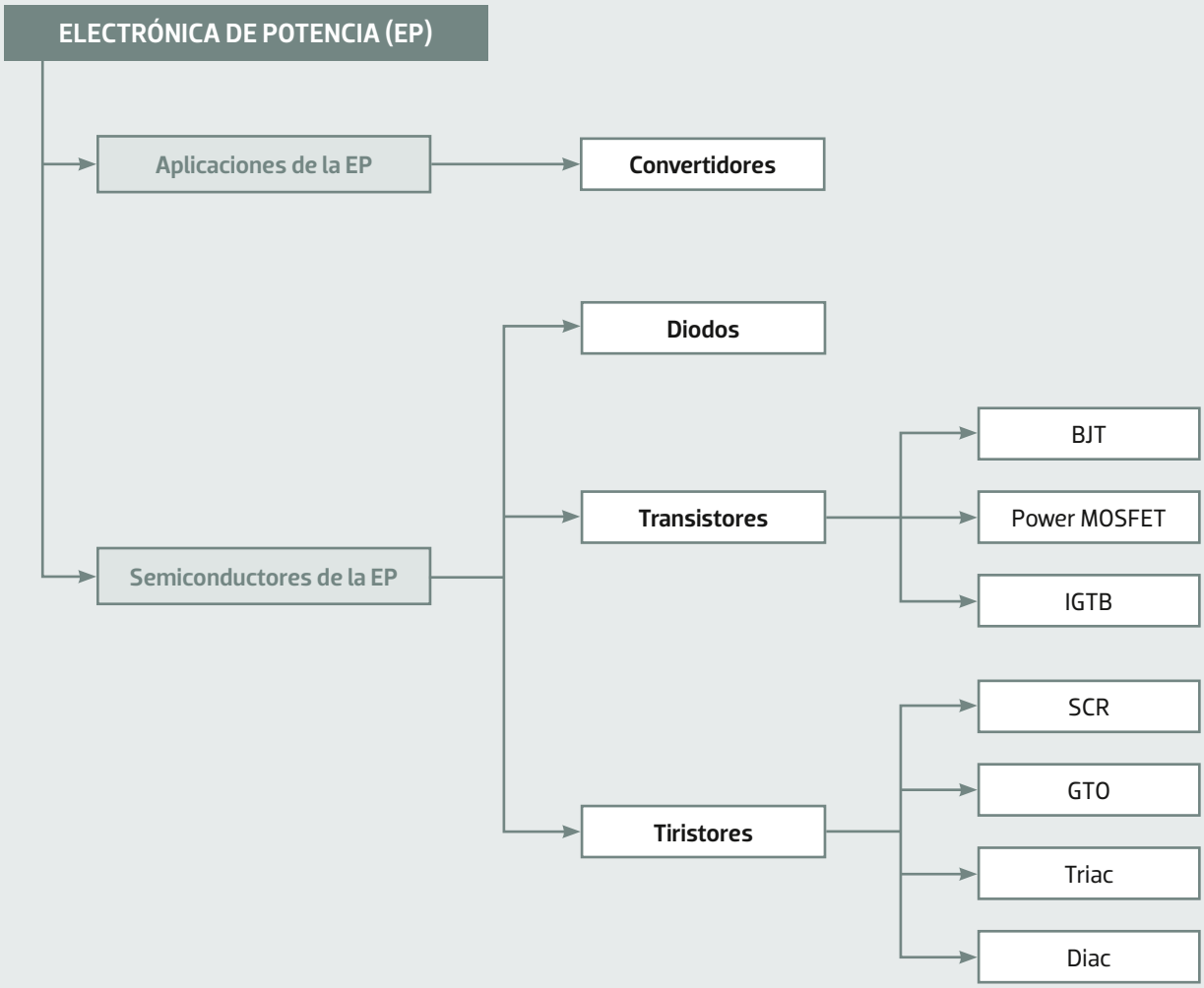


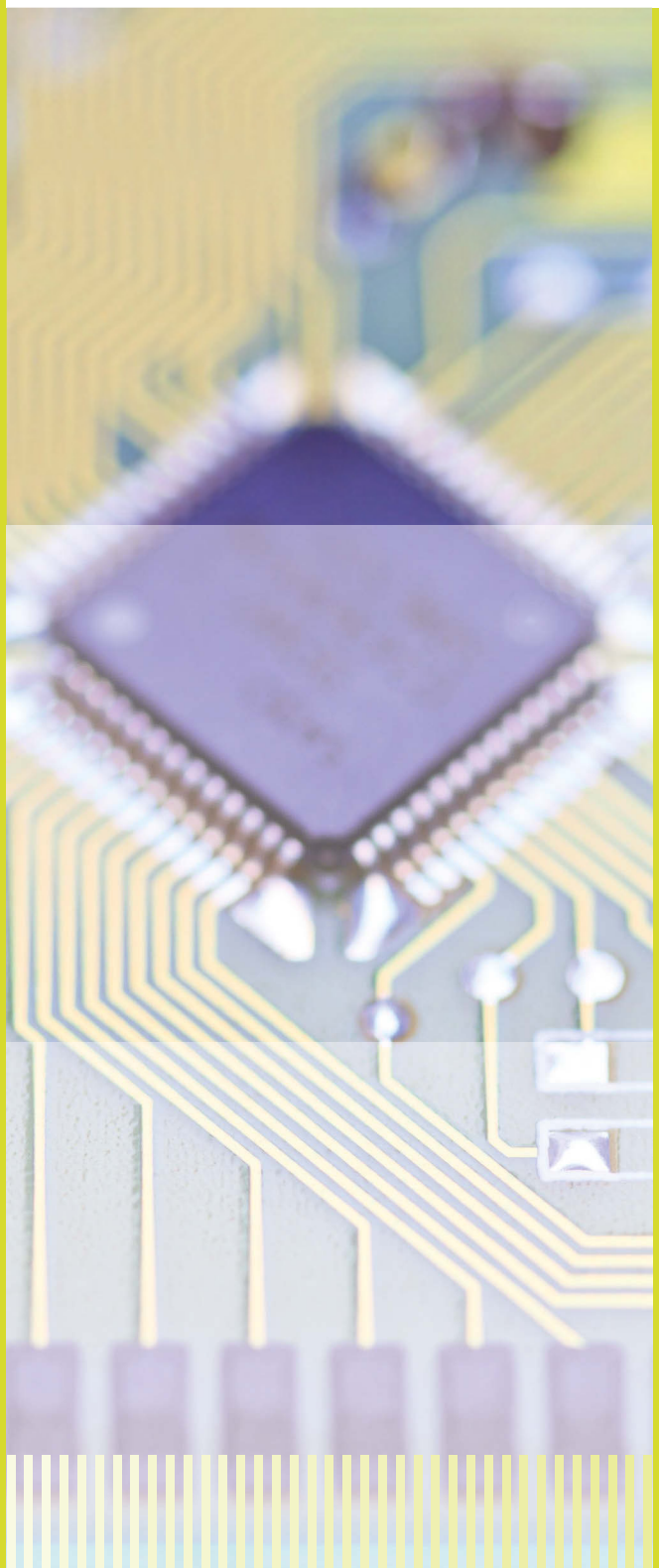

**Figura 7.62.** Montaje sobre placa de prototipos.

3. Alimenta el circuito desde una fuente de tensión que se adecue a la tensión de trabajo del motor.
4. Conecta el cable **Izq** en el positivo de la fuente de tensión y comprueba que el motor gira en un sentido.
5. Retira el cable de la alimentación y observa que el motor se detienen.
6. Conecta el cable **Dch** al positivo de la fuente. En este caso, el motor debe girar en sentido contrario.

# EN RESUMEN


ELECTRÓNICA DE POTENCIA (EP)
Aplicaciones de la EP
Convertidores
Semiconductores de la EP
Diodos
Transistores
BJT
Power MOSFET
IGTB
Tiristores
SCR
GTO
Triac
Diac

# 8 Circuitos integrados



## Vamos a conocer...

1. ¿Qué es un circuito integrado?
2. El amplificador operacional (AO)
3. Circuito integrado 555
4. Otros circuitos integrados

PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA

Diodos LED intermitentes con circuito integrado 555

PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 1

Circuito biestable con 555

PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 2

Sensor de luz con amplificador operacional

## Y al finalizar esta unidad...

- Conocerás qué son los circuitos integrados, cómo se representan en los esquemas y cómo se utilizan.
- Aprenderás las aplicaciones básicas de los circuitos integrados basados en amplificadores operacionales.
- Utilizarás de forma básica el circuito integrado 555.
- Conocerás otros circuitos integrados de utilidad.
- Montarás diferentes circuitos con los amplificadores operacionales y el circuito integrado 555.

# 1. ¿Qué es un circuito integrado?

También denominado CI o chip, es un dispositivo electrónico que integra en su interior una serie de componentes electrónicos, principalmente semiconductores, que constituyen un circuito con una determinad funcionalidad.

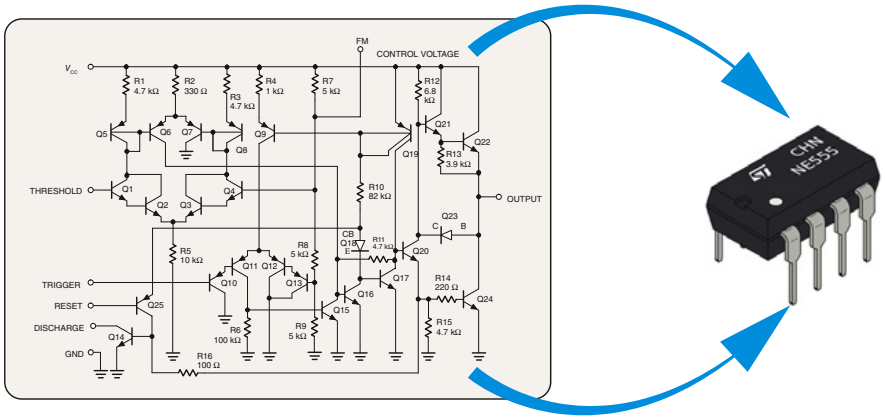



**Figura 8.1.** Circuito integrado 555 y su esquema equivalente.

El primer circuito integrado fue desarrollado a finales de los años 50 del siglo xx, y supuso un cambio radical en la forma de concebir los circuitos electrónicos, que hasta ese momento se habían estado desarrollando principalmente mediante válvulas de vacío. A partir de ese momento, los equipos comenzaron a miniaturizarse y a abaratarse, popularizándose en todos los entornos, pero especialmente en el doméstico.

## Recuerda

La electrónica actual no sería posible sin la invención de los circuitos integrados.

**Figura 8.2.** Varios circuitos integrados en una placa de circuito impreso.

## 1.1. Clasificación de los circuitos integrados

La clasificación de los circuitos integrados se puede hacer de diferentes maneras, en función de la constitución interna o según modo de funcionamiento. A continuación se detallan las más representativas.

### 1.1.1. Escala de integración

Un circuito integrado está construido principalmente por dispositivos semiconductores, como diodos y transistores, y, aunque algunos de ellos disponen de resistencias y condensadores, tienen ciertas restricciones en este sentido, ya que solo es posible integrar componentes pasivos de pequeño valor.

En función del número de transistores disponibles en su interior, se han establecido varios niveles de integración, que se conocen por su denominación en inglés:

| Nombre | Nivel | Número de transistores |
|---|---|---|
| **SSI** (*small scale integration*) | Pequeño nivel | De 10 a 100 |
| **MSI** (*medium scale integration*) | Medio | 101 a 1 000 |
| **LSI** (*large scale integration*) | Grande | 1001 a 10 000 |
| **VLSI** (*very large scale integration*) | Muy grande | 10 001 a 100 000 |
| **ULSI** (*ultra large scale integration*) | Ultragrande | 100 001 a 1 000 000 |
| **GLSI** (*giga large scale integration*) | Gigagrande | Más de 1 000 000 |

**Tabla 8.1.** Escala de integración en función del número de transistores que contiene.

### 1.1.2. Tipos de circuitos integrados

Dependiendo de la aplicación a la que van destinados, los circuitos integrados se clasifican en:

- Circuitos integrados analógicos.
- Circuitos integrados digitales.

Los primeros están diseñados para tratar señales de tipo analógico, y serán los estudiados en esta unidad. Los segundos están relacionados con la tecnología de electrónica digital, que será tratada de forma básica en próximas unidades.

## 1.2. Encapsulado de los circuitos integrados

El encapsulado es el que contiene los elementos que sustituyen el circuito integrado: núcleo, pines y cableado. Es de material aislante y, de igual forma que en otros semiconductores, se presenta y comercializa en diferentes formatos.

La figura muestra algunos de los encapsulados más extendidos de los circuitos integrados.

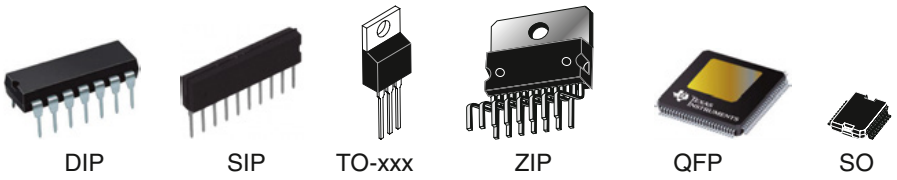



**Figura 8.3.** Encapsulados de los circuitos integrados.

El núcleo es de un tamaño muy reducido y ocupa muy poco espacio en el componente. La mayor parte de la superficie del encapsulado está destinada a soportar los terminales de conexión y el cableado interno.

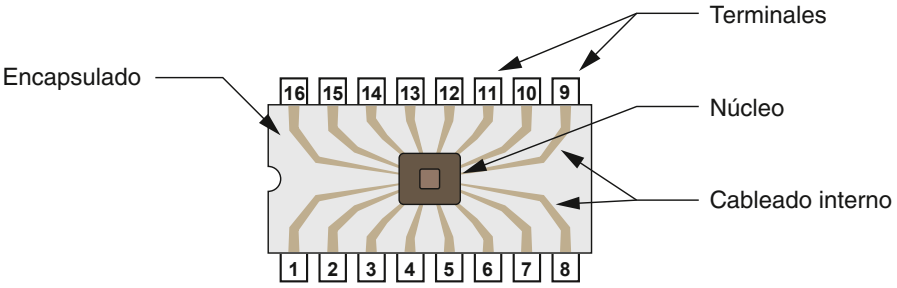



**Figura 8.4.** Cableado interno de un circuito integrado.

## 1.3. Identificación de terminales

Los terminales, normalmente denominados pines, permiten realizar la conexión eléctrica entre el circuito integrado y su entorno. Son de material metálico y es necesario identificarlos para su correcto conexionado.

El pineado de los integrados aparece detallado en las hojas de características de los fabricantes. Es evidente que una mala conexión hará que el circuito electrónico no funcione y que incluso el circuito integrado pueda dañarse.

La identificación de pines suele hacerse mediante algún elemento o marca que se encuentra sobre la superficie del encapsulado.

En el caso de los integrados con encapsulado DIP, la patilla número 1 se suele identificar con un punto (*DOT*).

### Saber más

Los circuitos integrados se fabrican habitualmente con cristales de silicio, aunque también se suelen utilizar otros minerales, como el germanio. En función de su forma de fabricación, estos pueden ser de tipo monolítico de capa fina, o monolíticos de capa gruesa. No obstante, su estudio se sale de los objetivos de este libro, y por este motivo no se detalla aquí.

### Saber más

Los circuitos integrados analógicos también suelen recibir el nombre de **circuitos integrados lineales.**

### Saber más

Los circuitos integrados pueden tener funciones fijas o ser programables. A estos últimos se los conoce como **microcontroladores** (uC).

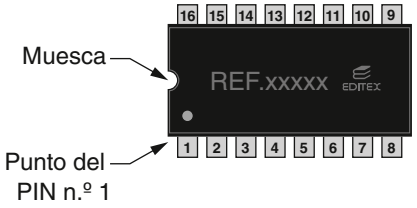



**Figura 8.5.** Orientación e identificación de terminales en un integrado DIP.

## 1.4. Zócalos para circuitos integrados

En numerosas ocasiones, especialmente en la fase de experimentación, se recurre al uso de zócalos para conectar los circuitos integrados en la placa de circuito impreso. Esto evita tener que soldar directamente el integrado a las pistas de soldadura, además de permitir su sustitución de forma sencilla en caso de reparación.

Existen zócalos de diferentes formas y tamaños, adaptados a casi todos los tipos de encapsulados.

Los denominados zócalos de «fuerza de inserción cero» o ZIF (*zero insertion force*) suelen utilizarse en equipos microinformáticos o reprogramables, en los que está previsto que el usuario pueda realizar su sustitución de forma sencilla. En ellos, tanto la extracción como la inserción se realiza manipulando el sistema de retención por palanca.

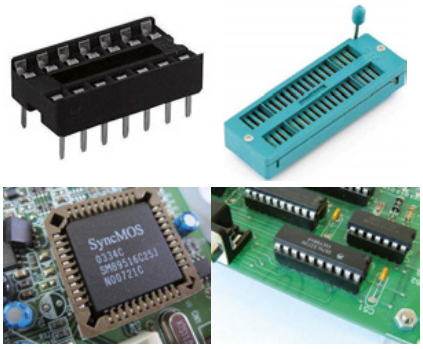


**Figura 8.6.** Aplicación de zócalos en placas de circuito impreso.

## 1.5. Representación gráfica de los circuitos integrados

En los esquemas electrónicos, los circuitos integrados se representan habitualmente en forma de rectángulo, con líneas numeradas perpendiculares a los lados del rectángulo, que representan los pines utilizados y conectados con el circuito exterior. Los integrados se identifican con la letra U seguida del número de orden que hace en el esquema.

Para simplificar su representación, en numerosas ocasiones, especialmente en los programas de simulación electrónica, se omiten los terminales de alimentación de los circuitos integrados. No obstante, dichos terminales deben tenerse en cuenta en el momento de implementar el circuito físicamente.

Aquellos circuitos integrados que constan de partes funcionales independientes, como es el caso de circuitos integrados con dos o más amplificadores operacionales o los de puertas lógicas digitales, se suele representar cada parte con una letra (A, B, C...), además del identificador del CI al que pertenece (U1, U2, etc.).

En el siguiente ejemplo se representa un circuito integrado (U1) modelo TL084, del que se utilizan dos partes, U1A y U1B, de las cuatro que lo constituyen. Como ambos elementos están en el mismo chip, la alimentación solamente se representa en uno de ellos. En el caso de la figura, es el de la izquierda, y corresponde con los terminales 4 y 11.

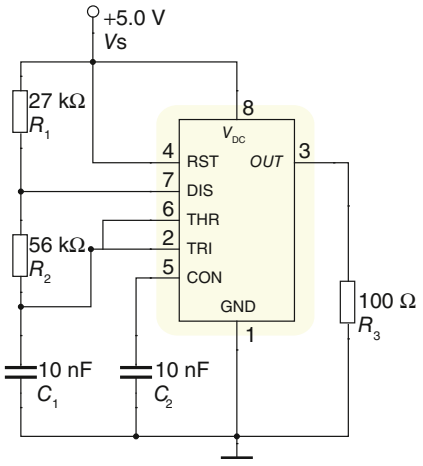



**Figura 8.7.** Forma general de representar un circuito integrado en un esquema.

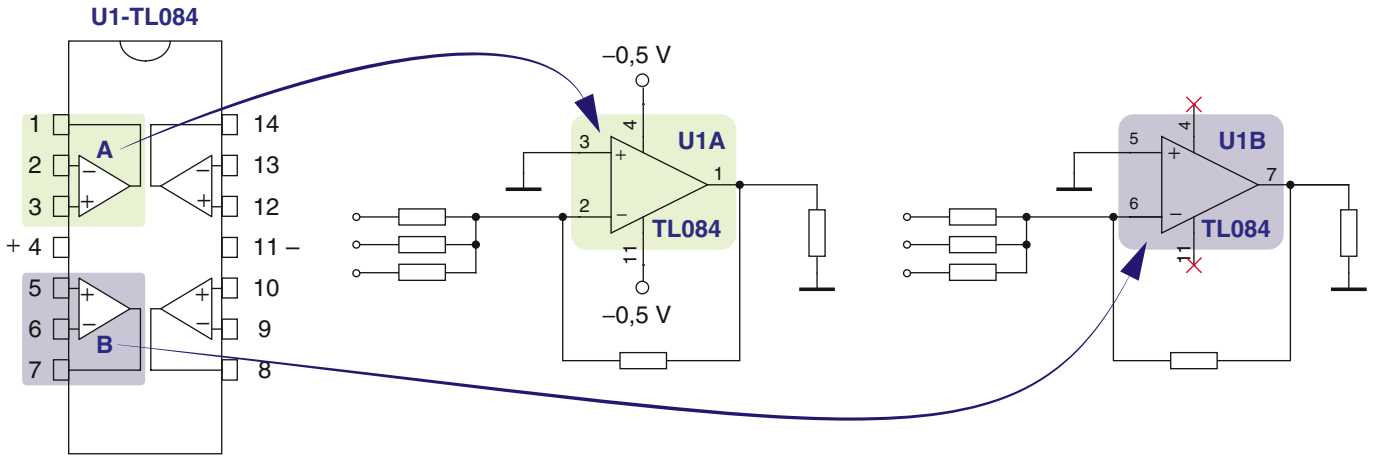



**Figura 8.8.** Representación por separado de dos de las partes de un circuito integrado.

## Saber más

El amplificador operacional recibe su nombre debido a que se desarrolló inicialmente para hacer operaciones matemáticas en calculadoras electrónicas.

# 2. El amplificador operacional (AO)

Un amplificador operacional AO es dispositivo electrónico cuya principal característica es su alta ganancia en tensión. Se distribuye en formato de circuito integrado, y se utiliza para realizar operaciones matemáticas con señales analógicas.

El símbolo es el siguiente:

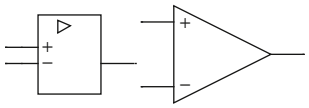
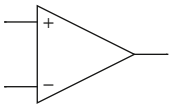
| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Amplificador operacional (AO) |  |  | U |

**Tabla 8.2.** Amplificador operacional.

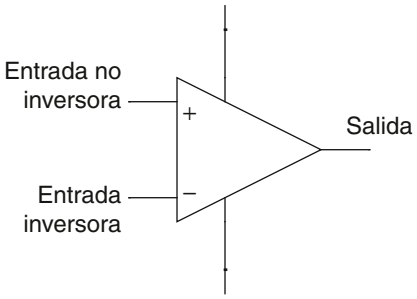



**Figura 8.9.** Terminales de un AO.

El amplificador operacional se representa habitualmente con un triángulo, en el que hay dos patillas de entrada, etiquetadas con los signos + y –, y una patilla de salida (*OUT*). La alimentación debe provenir de una fuente de corriente continua simétrica, y se representa en vertical, por arriba y por abajo, del símbolo triangular. No obstante, en muchas ocasiones, para facilitar el diseño y representación del esquema, la alimentación no se representa, lo que no quiere decir que no sea necesaria.

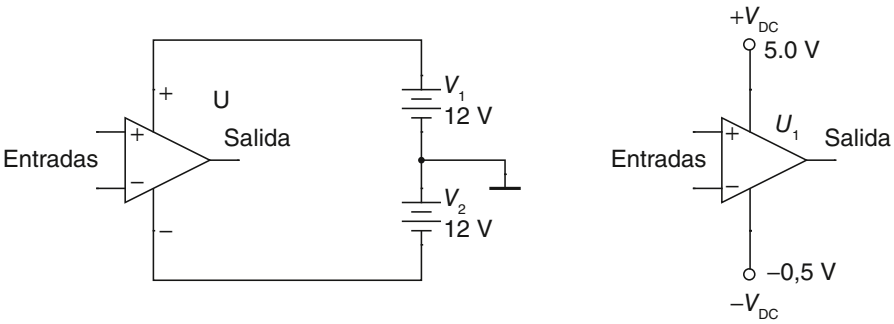



**Figura 8.10.** Dos formas de representar los amplificadores operacionales y su alimentación.

## Saber más

La forma idónea de alimentar un amplificador operacional es mediante una fuente de alimentación simétrica. No obstante, en algunas aplicaciones también es posible el uso de una fuente de alimentación simple.

Algunos modelos de AO, como el LM324, están diseñados para trabajar de esta manera.

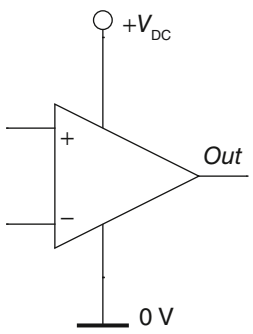



**Figura 8.11.** Operacional alimentado con fuente de alimentación simple.

## 2.1. Funcionamiento del amplificador operacional

El AO dispone de dos entradas y una salida. La entrada etiquetada con el signo negativo (–) es la denominada entrada **inversora** y la etiquetada con el signo positivo (+) es la **no inversora.** La señal de la entrada no inversora (+) está en fase con la de la salida y, sin embargo, la de la inversora (–) está desfasada 180 °.

La principal característica de un amplificador operacional es su ganancia G. Esta se establece mediante un número sin unidades, y es la relación que existe entre la señal de salida respecto a la de la entrada.

En los circuitos con amplificadores operacionales es importante el concepto de **realimentación,** que consiste en leer la señal de salida y utilizarla como referencia en alguna de sus entradas. Así, los circuitos que no utilizan realimentación reciben el nombre de «circuitos en lazo abierto», y los que la utilizan, «circuitos en lazo cerrado».

Dependiendo de cómo se cierre el «lazo», en la patilla inversora o en la no inversora, el circuito puede ser en «montaje inversor» o en «montaje no inversor», siendo el primero de ellos el mayormente utilizado.

### 2.1.1. Montaje inversor

En este montaje, la señal de entrada se aplica a la entrada inversora (–) del AO a través de una resistencia ($R_1$), y la realimentación se ejecuta desde la salida del amplificador a la misma entrada, a través de otra resistencia ($R_F$).

En este caso, la ganancia $G$ del amplificador operacional viene dada por la relación $R_F/R_1$ que existe entre ambas resistencias, teniendo en cuenta que la señal de salida está desfasada 180 ° respecto a la de entrada.

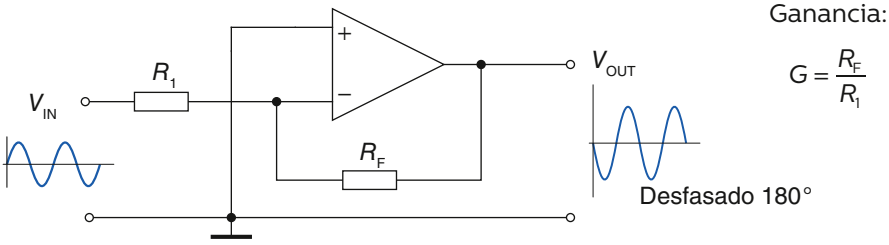



**Figura 8.** 13. Montaje inversor.

### 2.1.2. Montaje no inversor

En este montaje, la señal de entrada es aplicada al terminal no inversor, por lo que la señal resultante se encuentra en fase con la de la entrada.

En este caso, la ganancia es la que se indica a continuación.

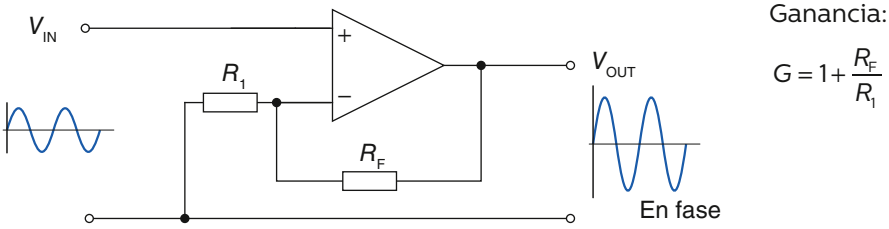



**Figura 8.14.** Montaje no inversor.

En ambos circuitos, para obtener el valor de la tensión de salida, es necesario multiplicar la ganancia por el valor de tensión de entrada: $V_{out} = V_{in} \cdot G$.

## Saber más

### En tu profesión

Los circuitos integrados con amplificadores operacionales pueden tener diferentes configuraciones. Aquí se muestra un ejemplo de ellas. No obstante, antes de conectarlos, siempre es necesario consultar la hoja de características del fabricante.

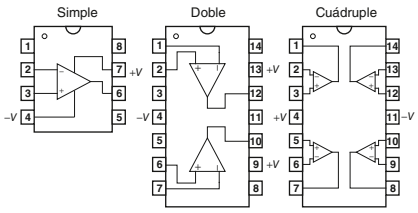



**Figura 8.12.** Diferentes configuraciones de circuitos integrados con operacionales.

## Seguridad

El nivel de tensión de salida de un operacional no superará nunca el valor de tensión de su alimentación.

## Actividades

1. Utilizando un programa de simulación electrónica, comprueba el montaje inversor de un circuito con amplificador operacional, sabiendo que los valores de resistencias son $R_1 = 2k2$ y $R_F = 4k$, y que la resistencia de salida o de carga es de 100 Ω.

   Conecta un generador de frecuencias a la entrada $V_{in}$ del montaje y ajusta dicho generador para una salida de tensión de 1 V de valor de pico y una frecuencia de 1 kHz. Conecta un osciloscopio de dos canales, de forma que en uno de ellos esté conectada la señal de entrada, procedente del generador de frecuencias, y en el otro la señal de salida del circuito. Observa el desfase de las señales en el osciloscopio y calcula si la ganancia es correcta. ¿Qué ocurre con la ganancia si sustituyes la resistencia $R_F$ por una de 8k?

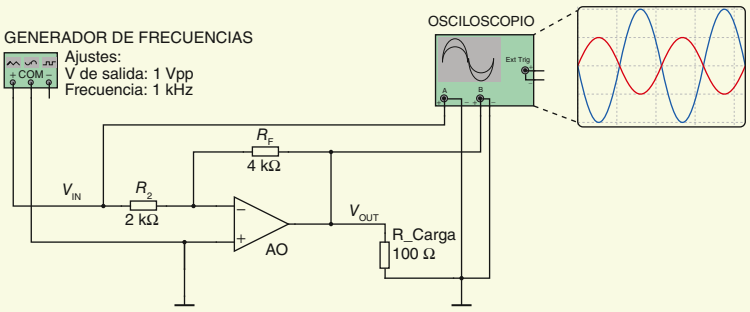


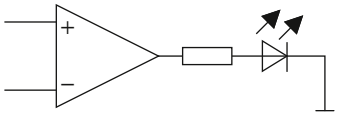

**Figura 8.15.** Circuito para simular.

2. Siguiendo las pautas de la actividad anterior y manteniendo los mismos componentes, realiza la simulación para el montaje «no inversor».

## Saber más

**En tu profesión**

Las salidas de los amplificadores operacionales pueden ser utilizadas para activar cargas, como diodos o transistores, siempre que no superen la corriente máxima que especifica el fabricante.



Activación de un LED con AO.

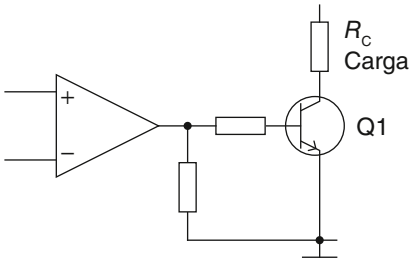



**Figura 8.16.** Activación de un transistor.

## Recuerda

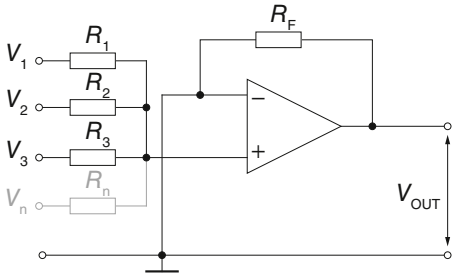
Ten en cuenta que si $R_F$ y $R_1$ son iguales, la ganancia en los circuitos en montaje inversor es 1.

## 2.2. Aplicaciones de los amplificadores operacionales

A continuación, se describen las aplicaciones básicas en la que se utilizan los amplificadores operacionales. Todas ellas se encuentran descritas y representadas para el montaje inversor, ya que es el más utilizado y el más rápido. No obstante, debes saber que, de igual forma, se podrían configurar mediante el montaje no inversor.

### 2.2.1. Sumador

Este montaje permite la suma de dos o más tensiones aplicadas a la entrada del operacional. Las señales se aplican al mismo terminal del AO y cada una de ellas debe disponer de su propia resistencia en serie, cuyo valor debe ser el mismo para todas ellas. Como el circuito corresponde con el montaje inversor visto anteriormente, y la ganancia en esta configuración corresponde con $G = R_F/R_1$, el valor de la tensión de salida es el resultado de sumar cada una de las tensiones aplicadas en la entrada, multiplicado por la ganancia $G$.



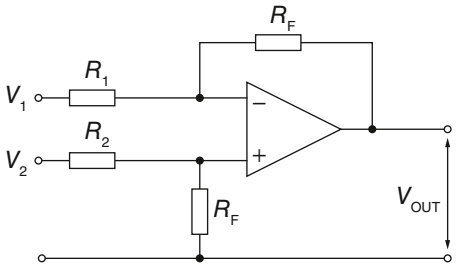

$$V_{OUT} = G \cdot (V_1 + V_2 + V_3 + ...)$$

**Figura 8.17.** AO como sumador.

### 2.2.2. Restador

La operación de resta o sustracción se realiza con el montaje de la siguiente figura. En él se utilizan ambas patillas del operacional (+ y –), de forma que los valores de tensión recibidos por cada una de ellas deben restarse. En este caso, las resistencias $R_1$ y $R_2$ deben ser iguales.

De igual forma que en el circuito sumador, la ganancia es la relación entre $G = R_F/R_1$. Por lo tanto, la tensión de salida es el producto de la ganancia, por la diferencia entre las dos tensiones de entrada.




$$V_{OUT} = G \cdot (V_1 - V_2)$$

**Figura 8.18.** AO como restador.

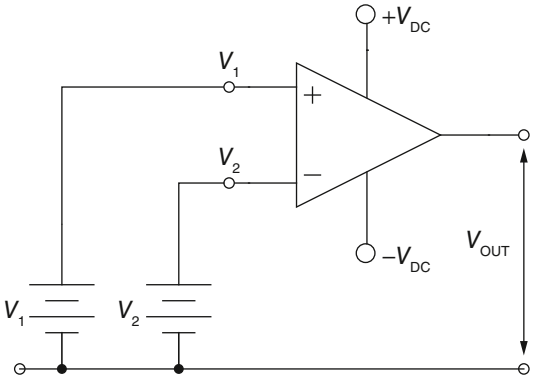
## Actividades

**3.** Calcula cuál es la tensión de salida de un circuito restador, en montaje inversor, si se sabe que $R_F = 4\ k\Omega$, $R_1 = R_2 = 4\ k\Omega$ y las tensiones de entrada son de 3,5 V y 1,5 V. ¿Cuál será la tensión de salida en el mismo circuito si todas las resistencias son iguales, por ejemplo, de 4 kΩ?

### 2.2.3. Comparador

En este montaje el amplificador operacional se configura en *lazo abierto*. Con él se puede comparar una tensión de entrada respecto a otra de referencia. Las dos te tensiones a comparar se aplican a los terminales + y – del AO.

Así, si la tensión en la entrada no inversora (+) es mayor que la de la inversora (–), la tensión de salida corresponde con el valor positivo de la fuente de alimentación. Si, por el contrario, la tensión de la entrada inversora (–) es mayor que la de la no inversora (+), el valor de la tensión de salida corresponde con el valor negativo de la fuente de alimentación. Si ambas tensiones son iguales, el valor de la tensión de salida es 0 V.




| Comparación | Resultado |
|---|---|
| $V_1 = V_2$ | 0 V |
| $V_1 > V_2$ | $+V_{DC}$ (–2 V) |
| $V_1 < V_2$ | $-V_{DC}$ (–2 V) |

**Figura 8.19.** AO como comparador.

### 2.2.4. El amplificador operacional como interruptor

Si el amplificador operacional está alimentado con una fuente de alimentación simple, cuando el valor en la entrada no inversora (+) es superior al de la inversora (–), la tensión de salida es el valor máximo positivo de la fuente de alimentación. Sin embargo, cuando la comparación es contraria a la nombrada, es decir, valor de tensión en entrada inversora superior a la entrada no inversora, la tensión en salida es 0 V. Este modo de funcionamiento puede ser especialmente útil para diseñar dispositivos que trabajan en conmutación controlables mediante algún tipo de sensor (temperatura, humedad, luz, etc.).

En el caso del circuito de la figura, la tensión de referencia de la entrada inversora es fija y proviene de un divisor de tensión ($R_1$ y $R_2$). El valor $V_1$ es variable y conmuta el valor de la salida, cuando supera o baja del valor de referencia.

### 2.2.5. Interruptor Schmitt con operacional

El circuito anterior tiene el problema de que cuando aparecen perturbaciones o ruido en la señal de entrada, si esta se encuentra cercana al valor de conmutación, el operacional puede disparar su salida, aunque no sea lo deseado.

Para dar solución a este efecto, se conecta la salida al terminal de entrada, a través de una resistencia, de forma que el disparo no dependa solamente de la tensión de entrada, sino también de la tensión de la propia salida. Así, tanto la conexión como la desconexión se producen a valores diferentes en $V_1$.

El margen existente entre ellos se denomina histéresis, y asegura que la conmutación de la salida no se realice de forma fortuita.

## Recuerda

En el montaje comparador, la tensión de salida, tanto en valor positivo como negativo, siempre será inferior a la de alimentación del integrado en unos 2 V. Es decir, que si un AO está alimentado con una fuente de +15 V/ 0 /–15 V, la tensión en salida será, aproximadamente, de unos 13 V, positivos o negativos, según corresponda.

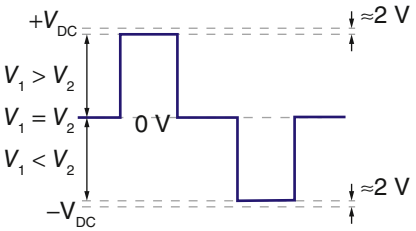



**Figura 8.20.** Salida del AO como comparador.

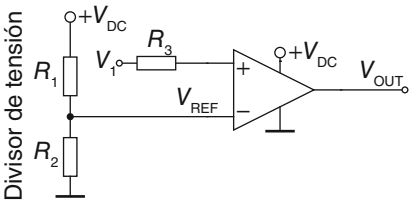



**Figura 8.21.** El interruptor operacional como interruptor.

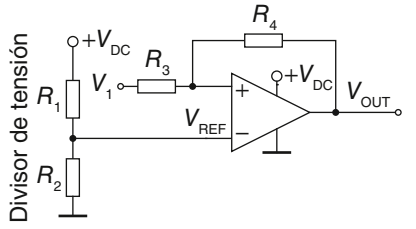



**Figura 8.22.** Interruptor Schmitt con operacional, también conocido como comparador con histéresis.

# 3. Circuito integrado 555

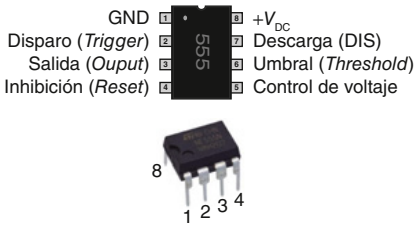



**Figura 8.23.** Pineado del 555.

El 555 es un circuito integrado con ocho patillas que se utiliza como temporizador o *timer*. Fue desarrollado y comercializado en 1972 por el ingeniero Hans Camenzid, de origen suizo. Desde entonces, se ha hecho enormemente popular, y aún al día de hoy es uno de los circuitos integrados más utilizados en todo tipo de aplicaciones, tanto industriales como domésticas.

En la siguiente figura se muestra el circuito simplificado equivalente del integrado 555. En él se puede observar que consta principalmente de dos comparadores, basados en amplificadores operacionales, con los que se gestiona un elemento biestable, que permite la activación y desactivación de la etapa de salida.

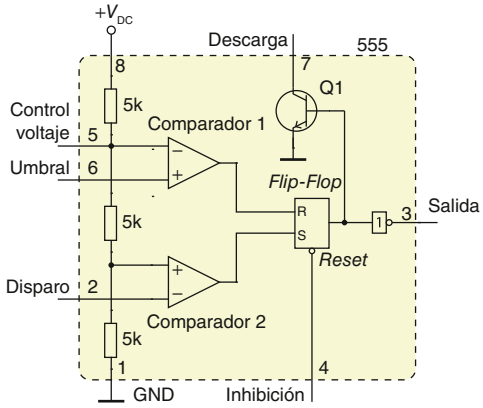



**Figura 8.24.** Esquema simplificado del interior de un circuito integrado 555.

## 3.1. Modos de operación

El 555 dispone de dos modos de operación o funcionamiento:

### 3.1.1. Funcionamiento como monoestable

Un circuito monoestable es aquel en el que, mediante un evento o acción, la salida cambia de estado y permanece en él durante un periodo de tiempo previamente definido.

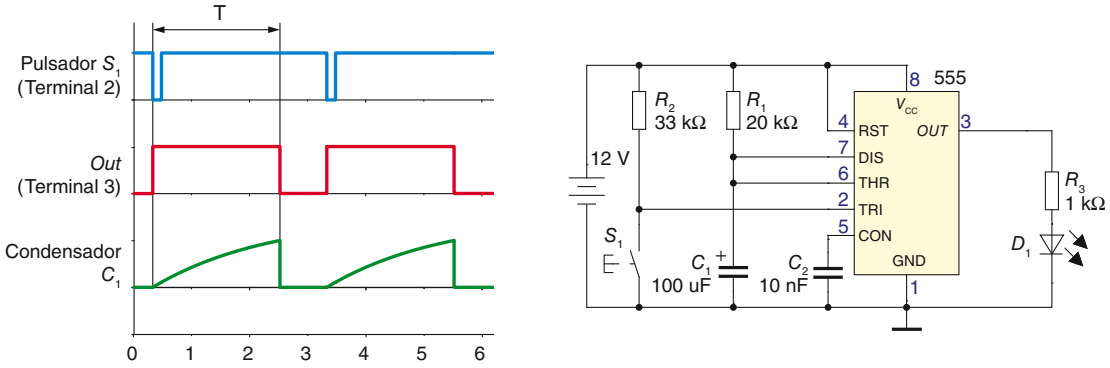



**Figura 8.25.** El integrado 555 como multivibrador monoestable y diagrama de tiempos.

En el circuito de la figura, cuando se pasa a valor bajo la entrada *trigger* (terminal 2), la salida *out* se activa, permanece de esta manera mientras se carga el condensador $C_1$. Cuando este se ha cargado por completo, la salida se desactiva, hasta que se vuelve a producir un evento sobre el pulsador del *trigger*.

## Recuerda

El integrado 555 puede ser utilizado para realizar todo tipo de tareas en las que intervienen intervalos de tiempo, como pueden ser generadores de pulsos o de onda, osciladores, temporizadores, etc.

El periodo de tiempo viene definido por la siguiente expresión:

$$T = 1{,}1 \cdot C_1 \cdot R_1$$

Donde $C_1$ es el valor del condensador en faradios, y $R_1$ el valor de la resistencia en ohmios. Como en el esquema $R_1 = 20$ kΩ y $C_1 = 100$ uF, el tiempo que la salida permanece activa una vez que se ha producido el evento sobre $S_1$ es de:

$$T = 1{,}1 \cdot 20\,000 \cdot 0{,}0001 = 2{,}2 \text{ s}$$

En este circuito el condensador $C_2$ es opcional y la resistencia $R_2$ se utiliza para mantener el valor positivo de la fuente de tensión en el terminal 2, cuando no está presionado el pulsador $S_1$.

### 3.1.2. Funcionamiento como astable

Un oscilador, o también conocido como multivibrador, de tipo astable, es un circuito que genera una señal periódica cuadrada, siempre que se encuentre alimentado mediante una fuente de tensión.

En el caso del integrado 555, lo que se va a conseguir es mantener activada y desactivada la salida, generando un tren de pulsos con un periodo definido por los valores de dos resistencias y un condensador. Así, la salida permanece activa cuando el condensador se carga y se desactiva cuando se descarga.

## Vocabulary

- Terminal: *pin*.
- Patillaje: *pining*.
- Muesca: *notch*.
- Punto: *dot*.
- Zócalo: *socket*.
- Encapsulado: *packet*.
- Disipador de calor: *heatsink*.
- Umbral: *threshold*.
- Amplificador operacional: *operational amplifier*.
- Sumador: *adder*.
- Restador: *subtractor*.
- Entrada: *input*.
- Salida: *output*.
- Fuente simétrica: *balanced supply*.
- Fuente asimétrica: *split-supply*.
- Disparador: *trigger*.
- Fuga: *leakage*.

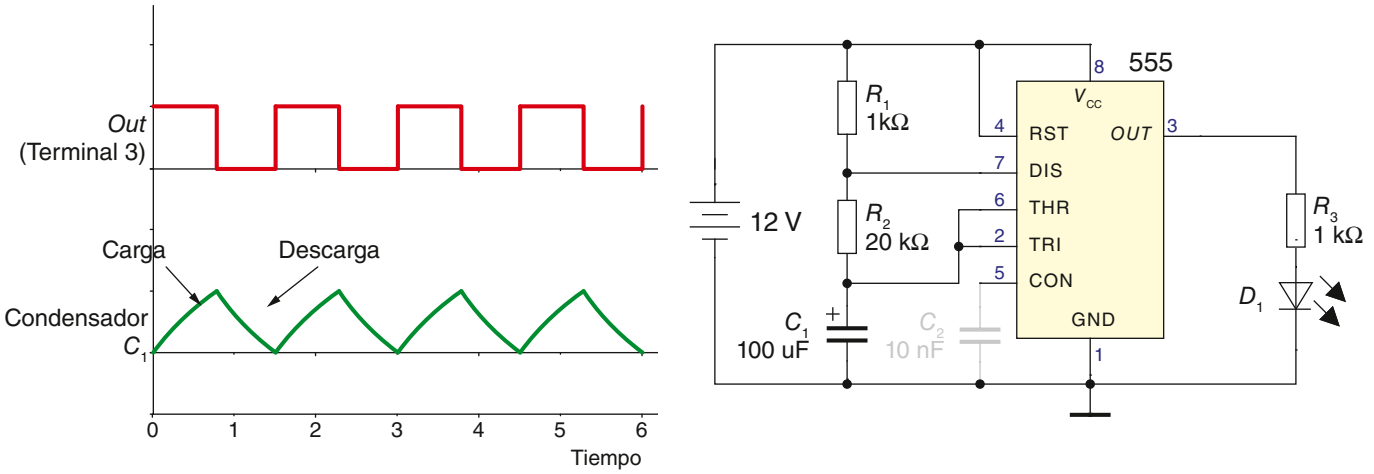



**Figura 8.26.** Integrado 555 como oscilador astable y su diagrama de tiempos.

Los tiempos de carga y de descarga están definidos por las siguientes expresiones, donde los valores de las resistencias se deben dar en ohmios, y el del condensador en faradios.

$$T_{carga} = 0{,}7 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C_1$$

$$T_{descarga} = 0{,}7 \cdot R_2 \cdot C_1$$

En el circuito de la figura, como $R_1 = 1$ kΩ, $R_2 = 10$ kΩ y $C_1 = 100$ uF, los tiempos de carga y descarga son:

$$T_{carga} = 0{,}7 \cdot (1000 + 10\,000) \cdot 0{,}0001 = 0{,}77 \text{ s}$$

$$T_{descarga} = 0{,}7 \cdot 10\,000 \cdot 0{,}0001 = 0{,}70 \text{ s}$$

Lo que quiere decir que el LED conectado a la salida del integrado estará parpadeando con una cadencia de 0,77 s encendido y 0,7 s apagado.

## Actividades

**4.** Calcula cuáles serán los tiempos de carga y descarga del condensador de un circuito astable, con un circuito integrado 555, que dispone de los siguientes valores de resistencias y del condensador:

Caso 1:

$R_1 = 10$ kΩ, $R_2 = 10$ kΩ y $C_1 = 147$ uF

Caso 2:

$R_1 = 2$ kΩ, $R_2 = 4$k7 Ω y $C_1 = 10$ uF

Representa las formas de onda en una hoja cuadriculada de tu cuaderno de trabajo.

## 3.2. Aplicaciones de los 555

A continuación, se muestran un par de circuitos con los que podrás experimentar y comprobar el funcionamiento del integrado 555.

### 3.2.1. Interruptor biestable

Permite controlar la salida (*OUT*) del integrado mediante dos pulsadores. Uno de ellos la activa y el otro la desactiva. En ambos casos, el estado al que se conmuta se mantiene, aunque cese la acción sobre cualquiera de los pulsadores.

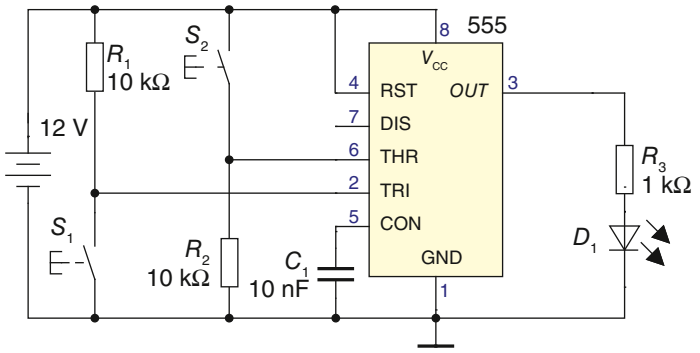



**Figura 8.27.** Biestable con 555.

## Saber más

**En tu profesión**

En automatismos industriales y en instalaciones domóticas, es muy habitual utilizar temporizadores o relés temporizados, para ejecutar acciones después de un tiempo preseleccionado.

La resistencia $R_1$ tiene la misión de asegurar la polaridad positiva en el terminal 2 del integrado, y la resistencia $R_2$, la polaridad negativa en el terminal 6.

Cuando se pulsa $S_1$, se acciona el biestable interno del integrado, manteniendo activado el LED, aunque cese la acción sobre dicho pulsador. De igual forma, si se acciona $S_2$, el biestable interno se pone a *reset* y se desactiva el LED de la salida.

### 3.2.2. Circuito temporizador

A continuación, se muestra el esquema para activar una carga de potencia a 230 $V_{AC}$ después de un tiempo.

En los sistemas electrotécnicos, a este circuito se le denomina temporizador o relé de tiempo.

## Saber más

La salida del 555 se puede utilizar para controlar cargas de potencia, mediante optoaisladores como se muestra en la siguiente figura.

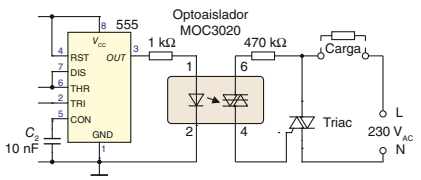



**Figura 8.29.** Circuito integrado 555 para activar un optoaislador basado en Diac.

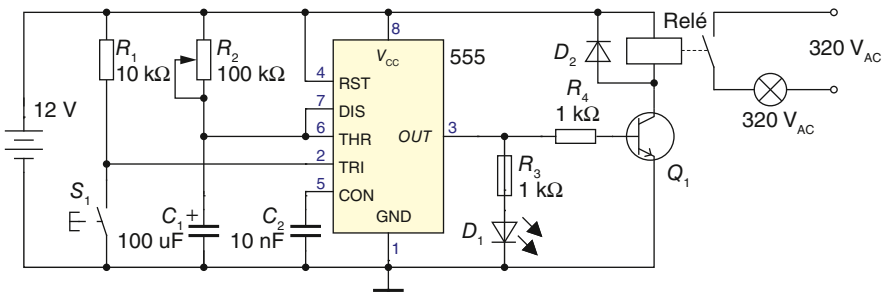



**Figura 8.28.** Circuito temporizador con 555 y carga a 230 $V_{AC}$.

Cuando se acciona el pulsador $S_1$, la salida del 555 se activa, polarizando la base del transistor y activando la bobina del relé, que, a su vez, conmuta la carga de 230 $V_{AC}$. El tiempo de conmutación se configura mediante el condensador $C_1$ y la resistencia $R_2$, que en este caso es un potenciómetro, que permite ajustar a voluntad el tiempo de disparo.

# 4. Otros circuitos integrados

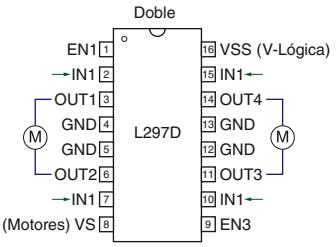
En el mercado existen miles de circuitos integrados con aplicaciones específicas para cada uno de ellos. Es evidente que es imposible estudiar todos ellos, por lo que es importante que, antes de utilizar un determinado circuito integrado, conozcas cuál es su funcionamiento y la identificación de sus patillas.

Aquí hemos elegido dos circuitos integrados de uso general con los que puedes practicar. Uno está relacionado con la electrónica de potencia, ya que se utiliza para el control de motores de corriente continua. Y el otro es un amplificador de audio de bajo coste, ampliamente utilizado en todo tipo de equipos que requieren amplificación de baja frecuencia.

## 4.1. Circuito integrado L293D

El L298D es un circuito integrado de potencia, que permite controlar dos motores DC o cargar inductivas mediante señales de baja tensión. En su interior dispone de dos puentes H separados eléctricamente entre sí, y controlables individualmente. Las entradas $IN_1$ e $IN_2$ permiten controlar el motor 1 en ambos sentidos de giro. De igual forma, $IN_3$ e $IN_4$ lo hacen con el motor 2. A las entradas se aplican señales digitales de 5 V (máximo 7 V) y por las salidas de potencia sale la tensión de alimentación de los motores aplicada en $V_S$ (máximo 30 V).

No es necesario conectar diodos volante externos en paralelo con las cargas, ya que estos se encuentran en su interior.



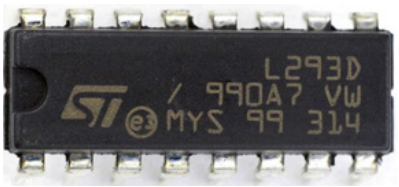




**Figura 8.30.** Pineado del integrado L293D.

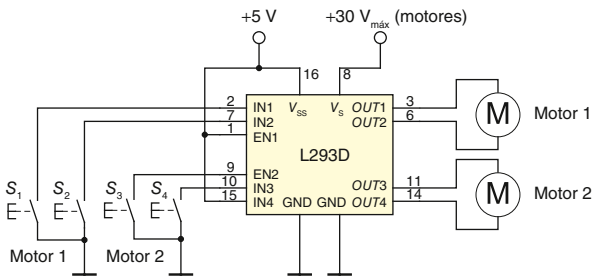



**Figura 8.31.** Circuito integrado para el control de motores.

## 4.2. Circuito integrado LM386

Es un amplificador de baja frecuencia, destinado a resolver aplicaciones de amplificación de sonido no muy existentes y que no requieran más de 1 W de potencia.

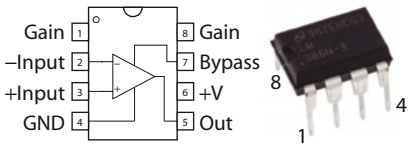



**Figura 8.32.** Pineado del integrado LM386.

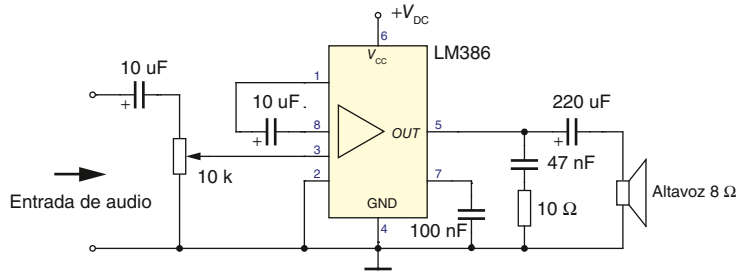



**Figura 8.33.** Amplificador con integrado LM386.

A la entrada del circuito se aplica una señal débil de audio, como puede ser la procedente de un reproductor MP3. El sonido se reproduce amplificado en el altavoz de salida, cuyo nivel puede ser controlado mediante el potenciómetro de entrada.

# PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA

## Herramientas

- Tijera
- Pinzas
- Alicates
- Osciloscopio de dos canales

## Material

- Placa de prototipos
- Cablecillos para placa de prototipos
- Tres resistencias de 1000 Ω
- Un diodo LED rojo y otro verde
- Un circuito integrado 555
- Una fuente de tensión de corriente continua de 12 V
- Un potenciómetro de 1 MΩ
- Un condensador electrolítico de 100 uF
- Un condensador electrolítico de 10 uF
- Un condensador de poliéster de 10 nF

# Diodos LED intermitentes con circuito integrado 555

## Objetivo

- Comprobar cómo funciona un circuito integrado 555 como astable.

## Precauciones

- Consultar la hoja de características para identificar cada uno de los terminales del circuito integrado.
- Respetar la polaridad de los LEDs.

## Desarrollo

1. Descarga de internet la hoja de características del integrado que vas a utilizar en el montaje y comprueba cuál es su *pineado*.
2. Estudia el circuito que vas a montar.

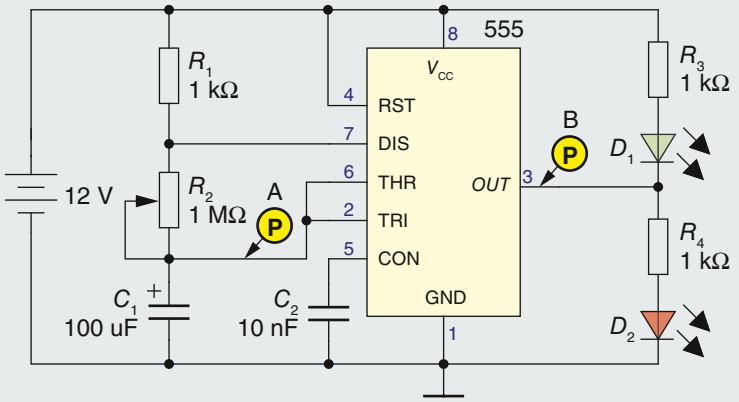



**Figura 8.34.** Circuito de diodos LED intermitentes con 555.

3. Selecciona y prepara todos los materiales.
4. Pincha los componentes en la placa de prototipos.
5. Realiza el cableado siguiendo el esquema del montaje.

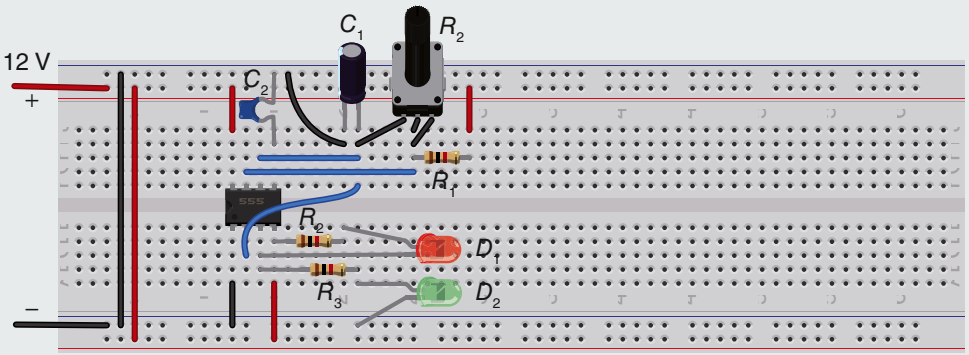



**Figura 8.35.** Montaje y cableado en placa de prototipos (dibujado con Fritzing).

6. Asegúrate de que el cableado es correcto antes de conectar la fuente de alimentación.
7. Actúa sobre el mando del potenciómetro, y ponlo a mitad de su recorrido.
8. Alimenta el circuito con una tensión de 12 $V_{DC}$.
9. Observa si se enciende alguno de los LEDs y si, después de un tiempo, se realiza la conmutación automática entre ellos.
10. Mueve el potenciómetro en un sentido y en otro y observa cómo la cadencia de la intermitencia se hace más corta o más pequeña en función de su posición.
11. Conecta un par de cables en los puntos de prueba marcados en el esquema.
12. Deja uno de sus extremos al aire.
13. Conecta otros dos cables a la masa de circuito.
14. Conecta una sonda del osciloscopio entre el cable de prueba A y masa.
15. Haz lo mismo con otra sonda entre el cable de prueba B y masa.
16. Conecta el circuito a la fuente de tensión.
17. Enciende el osciloscopio y ajusta los mandos de la base de tiempos y el atenuador de tensión hasta que en pantalla se aprecien las formas de onda.
    a) La señal cuadrada muestra la conmutación de la salida del circuito integrado.
    b) La señal en forma de sierra muestra la carga y descarga del condensador.

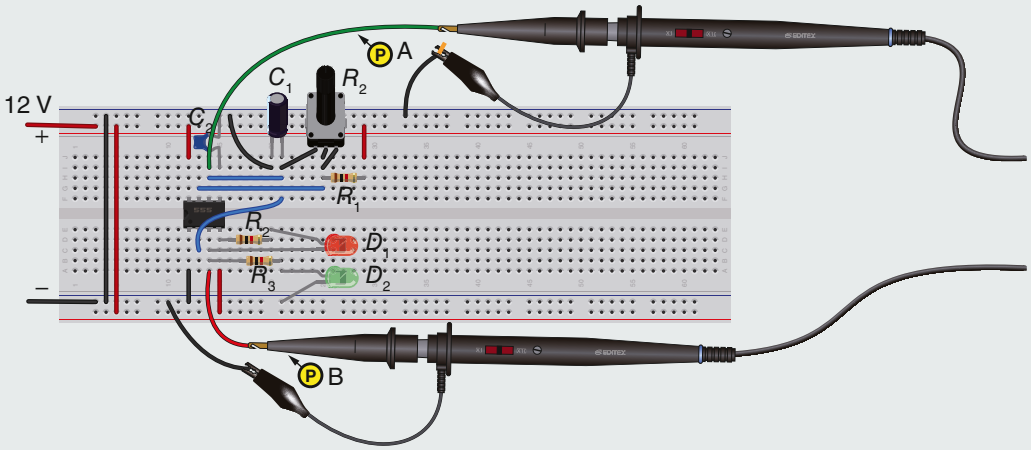



**Figura 8.36.** Conexión de las sondas del osciloscopio en los puntos de prueba.

18. Gira el potenciómetro en ambos sentidos y observa cómo cambian las formas de onda.

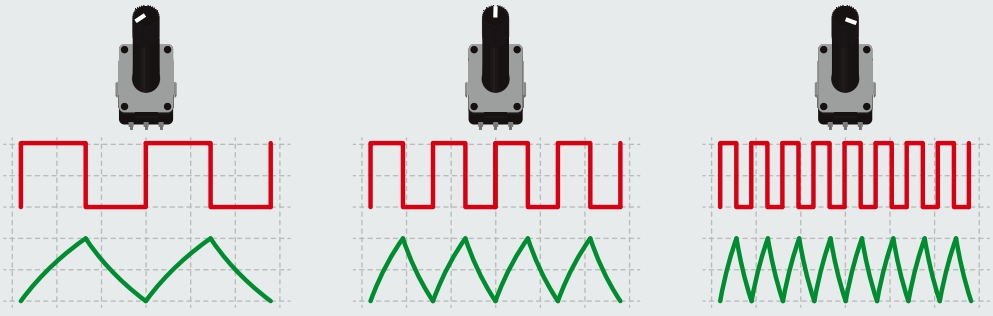


**Figura 8.37.** Ejemplo de formas de onda obtenidas al girar el potenciómetro.

19. Cambia el condensador por otro de un valor de 10 uF y observa cómo afecta a la forma de onda resultante.

# TEST DE EVALUACIÓN

RESUELVE EN TU CUADERNO O BLOC DE NOTAS

1. **¿Cuándo se desarrolló el primer circuito integrado?**
   a) A finales de los años 50 del siglo xx.
   b) En el año 1972.
   c) En los años 40 del siglo xx.
   d) En los años 80 del siglo XX.

2. **Si un circuito integrado contiene 500 transistores, ¿cuál es su nivel de integración?**
   a) SSI.
   b) MSI.
   c) VLSI.
   d) ULSI.

3. **Un ZIF es:**
   a) Un tipo de circuito integrado.
   b) Un formato de encapsulado de circuitos integrados.
   c) Un tipo de zócalo para los circuitos integrados.
   d) Una referencia de fabricante.

4. **Si en un esquema hay un componente que se denomina U4-B, significa que:**
   a) Es un circuito integrado modelo B.
   b) Es un integrado conectado a la base de un transistor.
   c) Es un circuito integrado que tienen cuatro partes.
   d) Es la segunda parte del circuito integrado número 4.

5. **¿Cómo se denominan las patillas de un amplificador operacional?**
   a) Emisor, base y colector.
   b) Entrada inversora, no inversora y puerta.
   c) Entrada inversora, no inversora y salida.
   d) Entrada inversora, positivo y masa.

6. **En un circuito en lazo cerrado montaje inversor, la realimentación se encuentra:**
   a) Entre la salida y el terminal inversor de entrada.
   b) Entre la salida y el terminal no inversor de entrada.
   c) Entra la entrada inversora y la no inversora.
   d) Entre los dos terminales de la alimentación simétrica del operacional.

7. **Si en un circuito con amplificador operacional y montaje no inversor las resistencias tienen los siguientes valores $R_F = 8k$ y $R_1 = 2k$, ¿cuál será su ganancia?**
   a) 2.
   b) 4.
   c) 5.
   d) 8.

8. **Un interruptor Schmitt es:**
   a) Una marca muy popular de interruptores y pulsadores.
   b) Una configuración especial de los amplificadores operacionales.
   c) Una configuración de los 555.
   d) Una forma de realimentación de los amplificadores operacionales.

9. **En un circuito con el integrado 555 en funcionamiento monoestable, si el condensador tiene un valor de 10 uF y la resistencia de 100k, ¿cuál será el tiempo que permanecerá la salida activada una vez que se haya producido su disparo?**
   a) 11,1 s.
   b) 2,2 s.
   c) 1 s.
   d) 1,1 s.

10. **Si en un circuito astable con el integrado 555 se observa con un osciloscopio la señal de carga y descarga del condensador, la forma de onda obtenida es:**
    a) Senoidal.
    b) Cuadrada.
    c) En diente de sierra.
    d) Asimétrica.

# ACTIVIDADES FINALES

**1.** Descarga de internet las hojas de características de los siguientes circuitos integrados: TL084, uA741, LM358, OP77, CA3140, y consulta el esquema de *pineado* de todos ellos. ¿Coinciden las patillas en todos los modelos?

**2.** Utilizando un *software* de simulación electrónica, monta el circuito sumador de la figura basado en un amplificador operacional y observa cuál es la tensión de salida si se activan los pulsadores. ¿Cuál es la ganancia del circuito? ¿Qué relación hay entre las tensiones de entrada, la ganancia y la tensión de salida? ¿De qué signo es la tensión de salida y por qué?

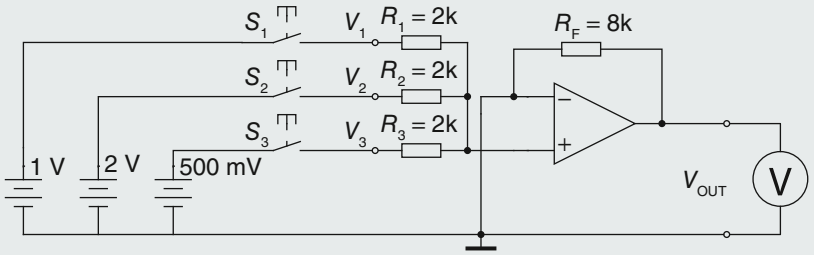



**Figura 8.38.** Circuito sumador con operacional.

**3.** Dibuja el circuito restador de la figura, comprueba su funcionamiento en el simulador y responde a las mismas preguntas de la actividad anterior.

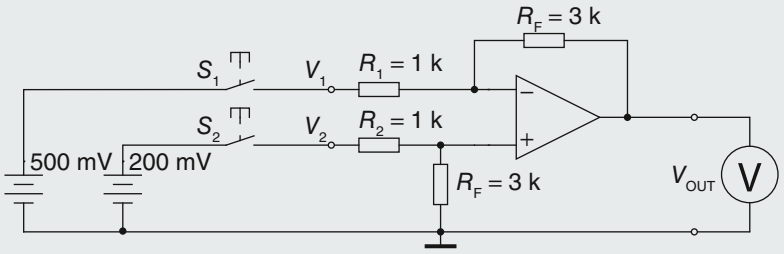



**Figura 8.39.** Circuito restador con operacional.

**4.** Monta sobre una placa de prototipos el circuito de la figura y comprueba cómo, al actuar sobre el potenciómetro R6, los LEDs se activan y desactivan progresivamente.

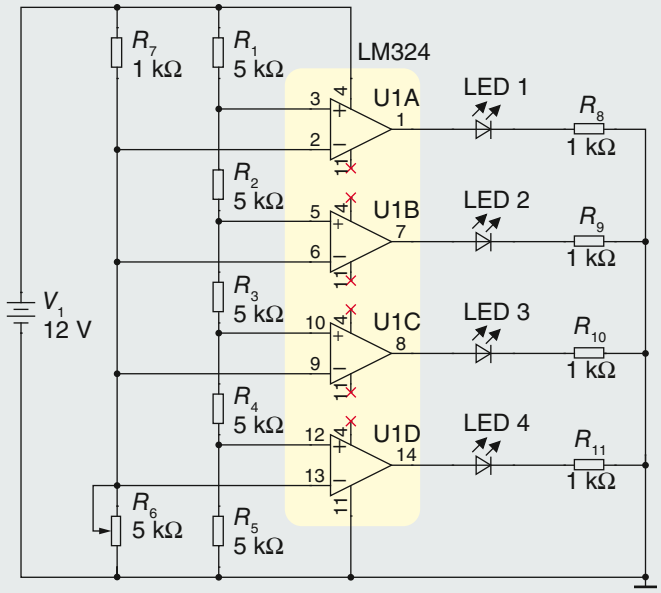



**Figura 8.40.** Medidor de nivel de tensión con comparadores AO.

# ACTIVIDADES FINALES

**5.** Simula el circuito de la figura que representa un amplificador operacional funcionando como interruptor.

a) Abre el interruptor $S_2$ y prueba el funcionamiento variando el valor del potenciómetro. ¿A qué valores de tensión en la entrada no inversora (+) se produce la activación y desactivación del LED?

b) Cierra el interruptor $S_1$ y comprueba ahora a qué valores de tensión en la entrada no inversora se produce la conmutación. ¿Qué diferencias hay con el funcionamiento anterior?

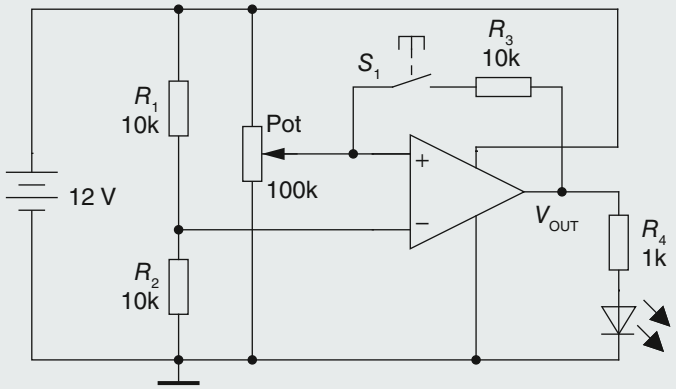



**Figura 8.41.** Amplificador operacional como interruptor.

**6.** Descarga de internet la hoja de características de circuito integrado LM556. ¿Qué es este integrado? ¿Qué similitudes tiene con el 555?

**7.** Utilizando un programa de simulación electrónica, simula el funcionamiento del 555 en modo monoestable. Utiliza un osciloscopio virtual para observar cómo se carga y descarga el condensador y el estado de la salida. Calcula R/C para que la temporización sea de 5 s.

**8.** Monta en una placa de prototipos el circuito de la figura basado en el circuito integrado 555, cuyo funcionamiento es simular a un telerruptor. En este caso, el LED de la salida cambia de estado cada vez que se produce una acción en el pulsador $S_1$. Es decir, si el LED está apagado, al accionar $S_1$ se enciende, y si está encendido, se apaga.

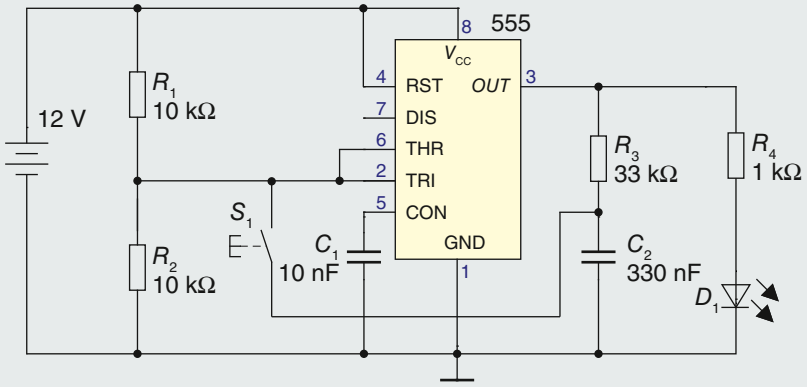



**Figura 8.42.** Circuito 555 en funcionamiento como telerruptor.

**9.** Basándote en el circuito de la actividad anterior, ¿cómo controlarías el encendido de una lámpara de 230 V, sabiendo que la etapa de potencia se debe basar en un Triac? Dibuja el esquema en tu cuaderno de trabajo, compáralo con el de tu compañero y realiza la simulación en tu ordenador.

**10.** Dibuja el esquema para controlar el sentido de giro de un motor de corriente continua mediante dos pulsadores, con el circuito integrado L293D. Móntalo sobre una placa de prototipos y prueba su funcionamiento, de forma que al accionar $S_1$ el motor gire en un sentido y al accionar $S_2$ gire en sentido contrario.

# PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 1

## Herramientas

- Polímetro
- Herramientas de electricista

## Material

- Placa de prototipos
- Cablecillos para placa de prototipos
- Dos pulsadores de circuito impreso
- Un circuito integrado 555
- Resistencias: 1k (1) y 10k (2)
- Un condensador de 1 nF
- Un diodo LED rojo

# Circuito biestable con 555

## Objetivo

Comprobar el funcionamiento de un circuito integrado 555 como biestable para activar un LED.

## Precauciones

- Identificar adecuadamente los terminales del integrado 555.
- Identificar adecuadamente los terminales de los pulsadores. Utiliza un polímetro si es necesario.

## Desarrollo

1. Estudia el esquema del circuito integrado 555 para que trabaje como biestable.

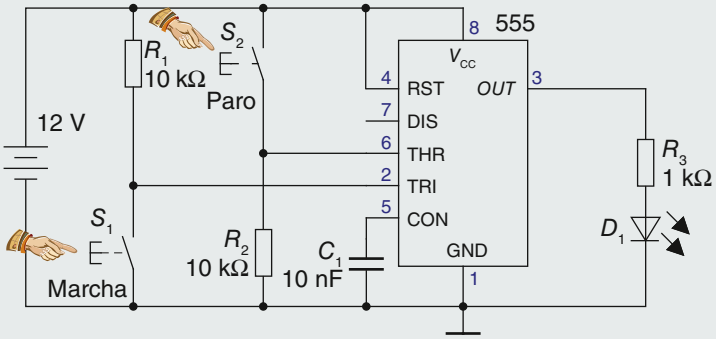



**Figura 8.43.** Esquema del 555 como biestable.

2. Mota el circuito sobre una placa de prototipos.

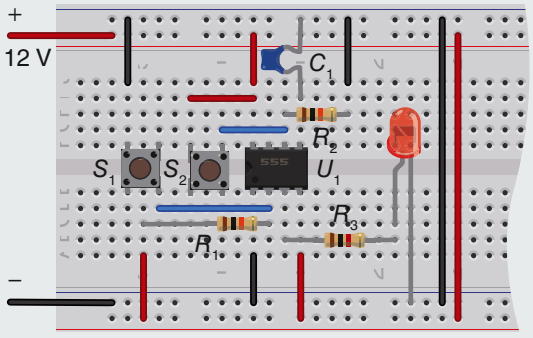



**Figura 8.44.** Montaje en la placa de prototipos (dibujado con Fritzing).

3. Alimenta el montaje con una fuente de alimentación.
4. Acciona el pulsador $S_1$ y observa que el LED se enciende y que permanece encendido aunque cese la acción sobre el pulsador.
5. Acciona el pulsador $S_2$ y observa que el LED se apaga y permanece en ese estado aunque cese la acción sobre él.

# PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 2

## Herramientas

- Herramientas de electricista

## Material

- Una fuente de alimentación de 12 $V_{DC}$
- Un transistor BC547
- Un diodo 1N4001
- Un relé con bobina a 12 V
- Un circuito integrado LM358
- Dos resistencias de 1k
- Una resistencia de 10k
- Una resistencia ajustable de 10k
- Un diodo LED de color rojo
- Un LDR
- Una placa de prototipos
- Cablecillos para placa de prototipos

# Sensor de luz con amplificador operacional

## Objetivo

Comprobar el funcionamiento de un amplificador operacional como comparador.

## Precauciones

- Identificar adecuadamente los terminales del circuito integrado y del transistor que vas a utilizar.

## Desarrollo

1. Busca en internet la hoja de características de circuito integrado que vas a utilizar.
2. Observa que el integrado LM358 es una amplificador operacional dual. Es decir, que dispone en su interior de dos amplificadores operacionales independientes, con alimentación común. Además, este modelo está diseñado para trabajar con una fuente de alimentación simple, entre un polo positivo y masa.
3. Identifica cada uno de los terminales del integrado.

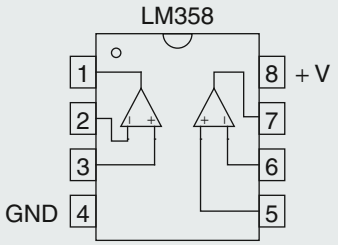



**Figura 8.45.** *Pineado del integrado LM358.*

4. Estudia el esquema que vas a montar. En él se ve que se utiliza uno solo de los AO que dispone el integrado.

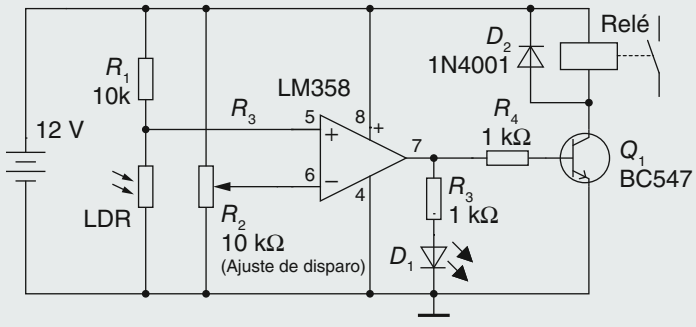
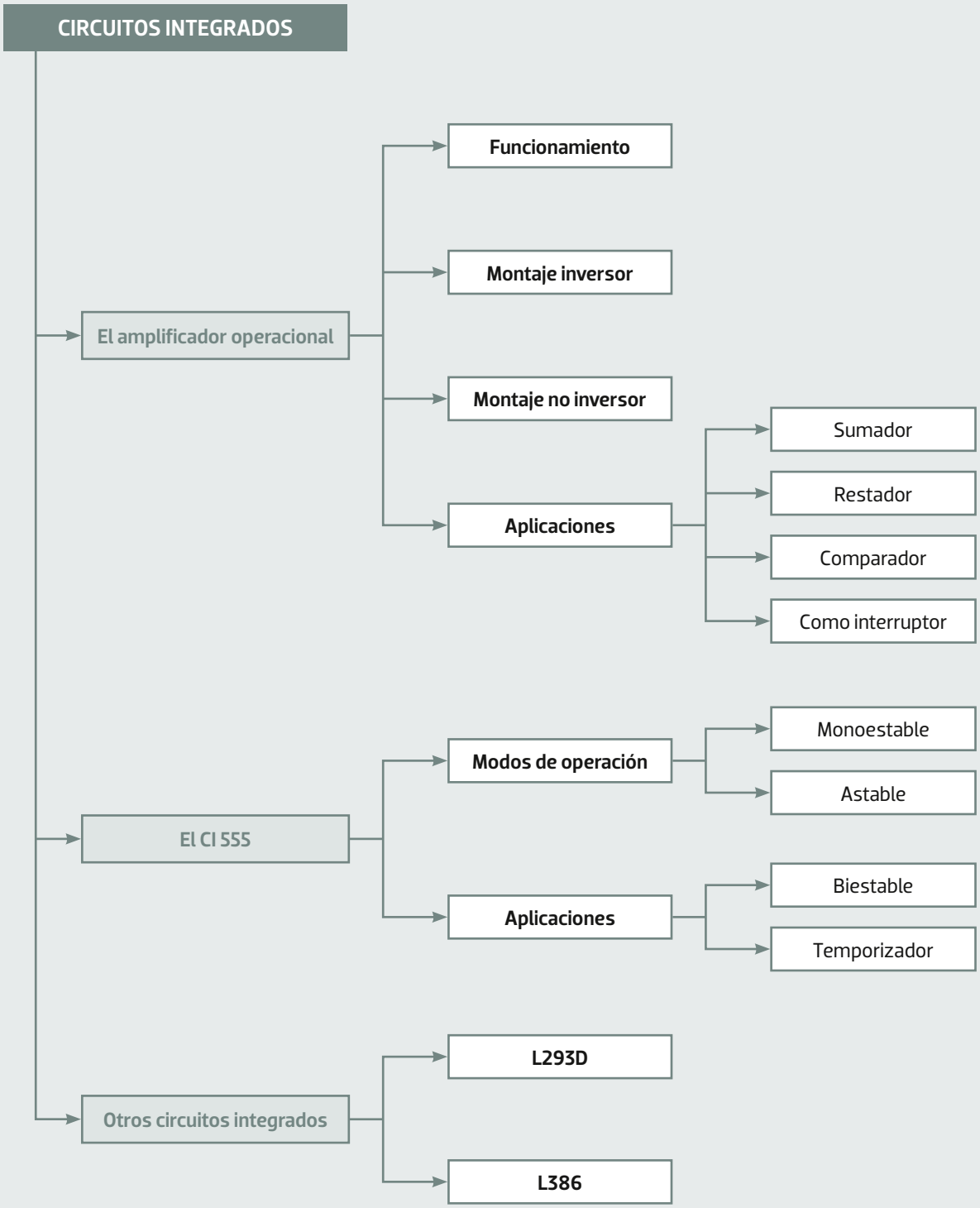



**Figura 8.46.** Esquema del sensor de luz con un AO como comparador.

5. Monta el circuito sobre una placa de prototipos y prueba su funcionamiento. El relé debe dispararse, a la vez que se enciende el LED, cuando el LDR deja de recibir luz. El disparo se ajusta mediante la resistencia ajustable $R_2$.

# EN RESUMEN


CIRCUITOS INTEGRADOS
El amplificador operacional
Funcionamiento
Montaje inversor
Montaje no inversor
Aplicaciones
Sumador
Restador
Comparador
Como interruptor
El CI 555
Modos de operación
Monoestable
Astable
Aplicaciones
Biestable
Temporizador
Otros circuitos integrados
L293D
L386

# 9 Iniciación a la electrónica digital

## Vamos a conocer...

1. ¿Qué es la electrónica digital?
2. Sistemas y códigos de numeración
3. Lógica digital
4. Circuitos integrados de puertas lógicas
5. Montaje y comprobación con circuitos integrados digitales

PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA

Comprobación de un circuito con puertas lógicas

PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 1

Simulación de un circuito digital con puertas lógicas

PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 2

Comprobación de circuitos lógicos equivalentes

## Y al finalizar esta unidad...

- Conocerás qué es la electrónica digital y para qué se utiliza.
- Identificarás números escritos en diferentes sistemas y códigos de numeración.
- Conocerás los conceptos básicos de la lógica digital para representar y simplificar circuitos lógicos.
- Conocerás cuáles son las puertas lógicas básicas, sus expresiones lógicas y su tabla de la verdad.
- Montarás y simularás circuitos combinacionales de lógica digital basados en puertas lógicas.

# 1. ¿Qué es la electrónica digital?

La electrónica digital es una técnica que, a diferencia de la analógica, estudia el tratamiento de valores discretos de las señales. Es decir, no trabaja con valores continuos, sino que lo hace con valores que solamente pueden tener dos estados o niveles: todo o nada, 1 o 0.

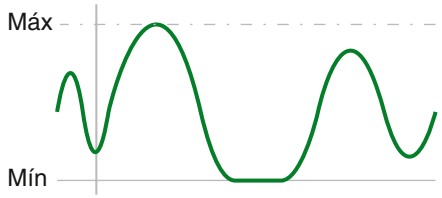



**Figura 9.1.** Señal analógica.

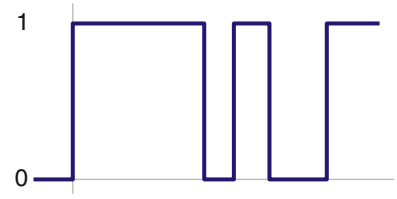



**Figura 9.2.** Señal digital.

Estos estados se originan por dos niveles de tensión, denominados **niveles lógicos,** en los que el valor máximo corresponde con el 1 y el valor mínimo con el 0.

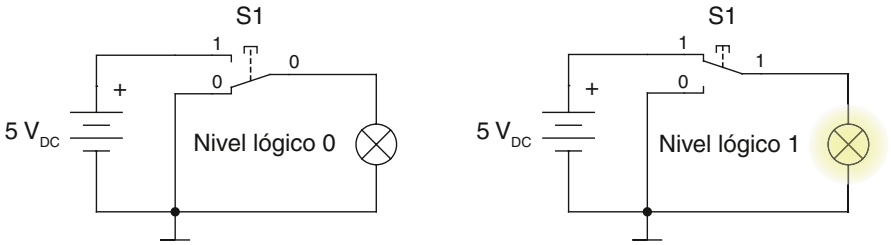



**Figura 9.3.** Niveles lógicos de una señal digital.

Otros nombres que reciben los niveles lógicos son verdadero-falso, *true-false*, alto-bajo, *high-low* y todo-nada.

El estudio de la electrónica digital se basa en la denominada lógica digital o álgebra de Boole, ya que con ella es posible la resolución de las operaciones lógicas y su posterior aplicación a los circuitos electrónicos.

## Saber más

En la electrónica analógica, la señal tiene un valor continuo dentro de un rango.

En la electrónica digital, la señal solamente puede presentar dos valores: el máximo y el mínimo.

## Saber más

George Boole fue un matemático británico del siglo XIX que desarrolló el álgebra que tiene su nombre y que actualmente se utiliza para estudiar todo lo relacionado con la electrónica digital y la informática.

# 2. Sistemas y códigos de numeración

## 2.1. Sistema de numeración

Un sistema de numeración está formado por un grupo de símbolos y normas que permiten componer números. De esta forma, es posible expresar cantidades reconocibles por las personas o por los sistemas electrónicos.

Los sistemas de numeración mayormente utilizados son:

- El decimal.
- El binario.
- El hexadecimal.
- El octal.

El número de símbolos de que dispone un sistema de numeración se denomina base, por lo tanto, a partir de ahora si se dice que un sistema de numeración está escrito en una determinada base, estaremos hablando del número de dígitos que se utilizan para formar dichos números.

## Saber más

Una forma de escribir y diferenciar los números en los diferentes sistemas de numeración consiste en escribir la base en forma de subíndice en el lado derecho del número.

| | |
|---|---|
| Decimal: | $30041_{(10}$ |
| Binario: | $10101_{(2}$ |
| Hexadecimal: | $A34B_{(16}$ |
| Octal: | $21015_{(8}$ |

## Saber más

Una forma sencilla y práctica de realizar la conversión de números entre los diferentes sistemas de numeración es utilizando una calculadora que lo permita, como puede ser la que dispone el sistema operativo Windows.

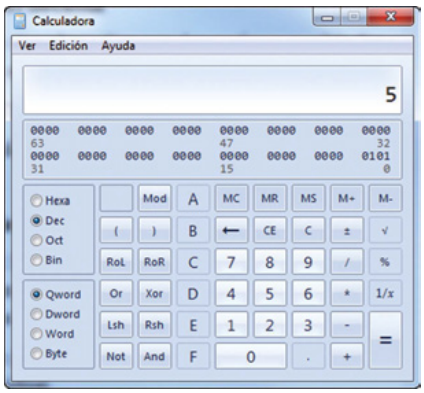



**Figura 9.4.** Calculadora de programador del sistema operativo Windows.

### 2.1.1. Sistema de numeración decimal

Utiliza diez símbolos (por lo tanto, tiene base 10) con los que es posible formar todo tipo de números:

0-1-2-3-4-5-6-7-8-9

La combinación entre ellos puede hacer números de mayor valor (12, 20, 103, 6129, etc.).

El sistema decimal es el más utilizado, ya que es el que entienden los humanos debido a que nos permite contar las unidades correspondientes con los dedos de nuestras manos. No obstante, existen otros sistemas y códigos de numeración, que, si bien no son los mejores para ser utilizados por las personas, se adaptan mucho mejor para operar en los sistemas digitales.

### 2.1.2. Sistema de numeración binario

Solamente utiliza dos símbolos, el 1 y 0, por lo que la base del sistema de numeración es el 2. Es el sistema de numeración utilizado en los sistemas digitales, y, por tanto, el que mejor se adapta a lo que aquí se va a estudiar.

Los números en binario se forman por una combinación de ceros y unos, que se leen dígito a dígito de forma individual.

Así, todos los números en binario tienen su equivalente en decimal, y viceversa.

| Número en binario | Número en decimal |
|---|---|
| 011100 | 28 |
| 10 | 2 |
| 101 | 5 |

**Tabla 9.1.** Ejemplos de números binarios y su equivalente decimal.

En un número binario, cada dígito se denomina bit. Por tanto, los números en este sistema se forman en función de la cantidad de bits que lo componen. Así, la cantidad de números que se pueden formar en binario se calcula elevando el número de la base, que en este caso es 2, al número de bits de dicho número.

Por ejemplo, con 3 bits podríamos formar los siguientes números:

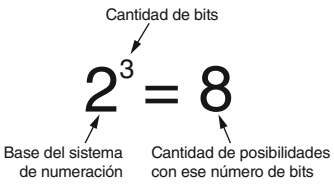



**Figura 9.5.**

| Número en binario | Número en decimal |
|---|---|
| 000 | 0 |
| 001 | 1 |
| 010 | 3 |
| 011 | 4 |
| 100 | 4 |
| 101 | 5 |
| 110 | 6 |
| 110 | 7 |

En un número en binario, cada bit tiene un peso, siendo el bit de menor peso el que se encuentra a la derecha y el de mayor peso a la izquierda. Leyendo el número de derecha a izquierda, el peso de cada bit es el doble que el del anterior.

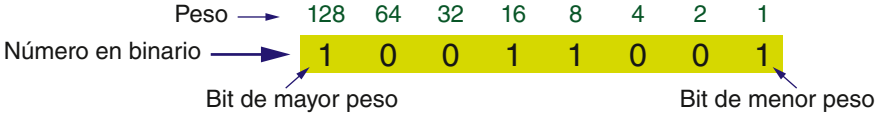



**Figura 9.6.** Peso de los bits de un número en binario.

## Saber más

Al bit de mayor peso también se le denomina **bit más representativo,** y al de menor peso, **bit menos representativo.**

Una forma sencilla de convertir un número binario en decimal es sumar los pesos de aquellos bits que se encuentran a 1 en el número en binario. El resultado de esta suma es el número en decimal.

**Figura 9.7.** Conversión de un número binario a decimal por la suma de los pesos de sus bits.

### 2.1.3. Sistema de numeración hexadecimal

Utiliza dieciséis símbolos para representar los números, por tanto, se dice que este sistema de numeración trabaja en base 16. Los diez primeros dígitos coinciden con los del sistema decimal, es decir del 0 al 9, y para los siguientes, mayores de 9, se utilizan las primeras letras del abecedario, de la A a la F.

Así, los números en hexadecimal se forman de la siguiente manera:

| Número en hexadecimal | Número en decimal |
|---|---|
| FF | 255 |
| 1A | 26 |
| D24 | 3364 |

**Tabla 9.2.** Ejemplos de números hexadecimales y su equivalente decimal.

### 2.1.4. Sistema de numeración octal

Es un sistema en base 8, por tanto, utiliza solamente ocho dígitos, del 0 al 7, los cuales coinciden con el sistema de numeración decimal. A partir del símbolo 8, la codificación es diferente:

0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25...

## 2.2. Códigos de numeración

Un código de numeración es una forma codificada de utilizar un sistema de numeración para la representación de números especialmente en los sistemas electrónicos e informáticos. Existen muchos códigos de numeración, como son: BCD, Gray, exceso de 3, Aiken, ASCII, etc. No obstante aquí solamente se estudiará uno de los más utilizados en electrónica, el BCD.

## 2.3. Código BCD

Debe su nombre a las iniciales de su denominación en inglés ***binary-coded decimal,*** que significa decimal codificado en binario.

En el código BCD cada dígito está formado con un número en binario de cuatro bits. Así, los números se forman dígito a dígito, codificando independientemente cada uno de ellos en binario.

### Recuerda

Símbolos del sistema hexadecimal y su correspondencia con el sistema decimal:

| Decimal | Hexadecimal |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 1 | 1 |
| 2 | 2 |
| 3 | 3 |
| 4 | 4 |
| 5 | 5 |
| 6 | 6 |
| 7 | 7 |
| 8 | 8 |
| 9 | 9 |
| 10 | A |
| 11 | B |
| 12 | C |
| 13 | D |
| 14 | E |
| 15 | F |

**Tabla 9.3.** Símbolos del sistema hexadecimal.

### Saber más

El código BCD facilita la representación de números en decimal o hexadecimal con *displays* basados en segmentos LED.

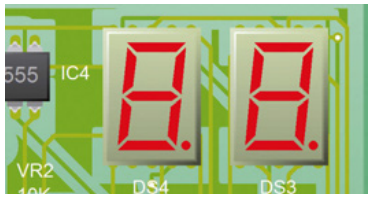



**Figura 9.8.** *Display.*

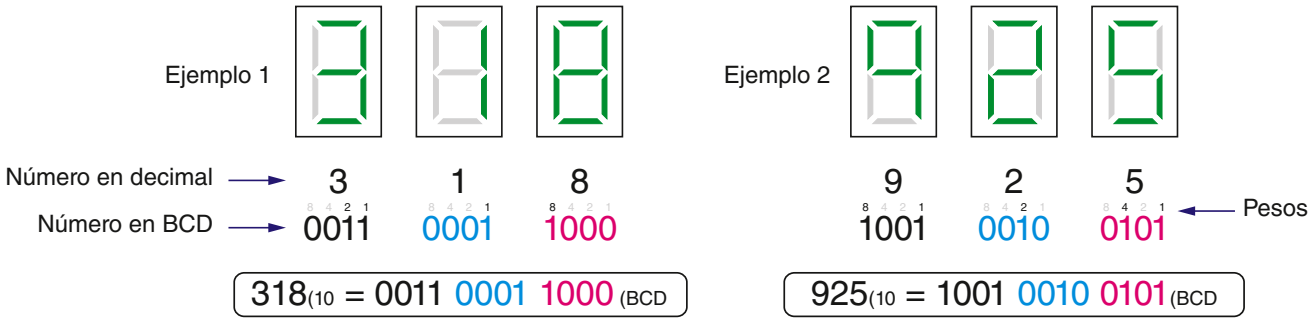



**Figura 9.9.** Dos ejemplos de uso del código BCD.

# 3. Lógica digital

Es la parte de la electrónica que estudia el comportamiento de los circuitos digitales, basándose en el álgebra de Boole y los circuitos de puertas lógicas.

En la lógica digital se trabaja con dos niveles de tensión, donde el nivel más alto corresponde con un 1 lógico y el nivel más bajo con un 0 lógico.

## 3.1. Circuito lógico

Es un circuito electrónico destinado a realizar una serie de operaciones, basadas en valores discretos (lógicos) de tensión, para obtener también un resultado del mismo tipo.

Las señales lógicas se aplican mediante elementos de entrada, como pueden ser pulsadores, interruptores, etc, o señales provenientes de otros circuitos lógicos. El resultado del circuito lógico se muestra a través de las salidas, en cuyo caso se pueden utilizar diodos LED, lámparas, relés, etc.

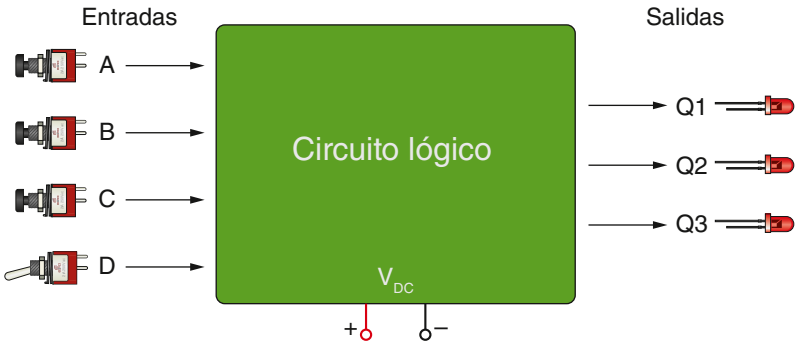



**Figura 9.10.** Circuito lógico.

## 3.2. Variables lógicas

Una variable es un elemento del circuito que puede cambiar de valor. En el caso de las variables lógicas, solamente es posible almacenar dos valores: el 1 o el 0.

Los circuitos lógicos disponen de variables de entrada y variables de salida. Las entradas se identifican mediante las letras del abecedario: A, B, C, etc. Y las salidas mediante Q1, Q2, Q3, etc.

Las entradas y salidas se suelen representar de forma simplificada, como se muestra a continuación:

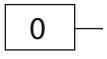
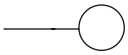
| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Entrada lógica |  | | A, B, C... |
| Salida lógica |  | | Q1, Q2, Q3... |

**Tabla 9.4.** Representación de entradas y salidas.

## 3.3. Tabla de la verdad

Es una forma gráfica de representar el estado de las variables de salida de un circuito lógico, en función del estado en el que se encuentran las entradas.

### Recuerda

El circuito lógico debe ser alimentado desde una fuente de tensión, aunque no suele representarse en los esquemas.

### Vocabulary

- Leyenda: *caption*.
- Lógica: *logic*.
- Entrada: *input*.
- Salida: *output*.
- Binario: *binary*.
- Tabla de la verdad: *truth table*.
- Sonda: *probe*.
- Cable: *wire*.
- Dispositivo: *device*.
- Circuito integrado: *integrated circuit*.
- Mejora: *improvement*.
- Nivel lógico: *logic level*.
- Lógica positiva: *logical ones*.
- Lógica negativa: *logical zero*.
- Alto: *high*.
- Bajo: *low*.
- Verdadero: *true*.
- Falso: *false*.

A modo de ejemplo, véase el siguiente circuito eléctrico que permite encender una lámpara mediante un pulsador. En él, cuando el pulsador es accionado, la lámpara se enciende. Y cuando este deja de pulsarse, la lámpara se apaga. Si el estado de ambos elementos se representa en formato de tabla en función de sus valores lógicos (0-1), se obtiene la denominada tabla de la verdad.

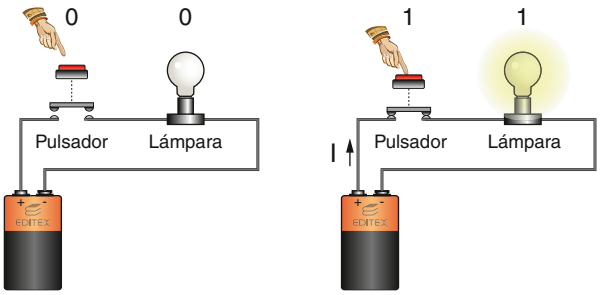



Tabla de la verdad

| Pulsador | Lámpara |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 1 | 1 |

**Figura 9.11.** Tabla de la verdad de un circuito básico.

En una tabla de la verdad deben contemplarse todas las combinaciones posibles que puedan existir entre las variables de entrada. Así, para calcular el número de combinaciones posibles, se toma la base del sistema de numeración en el que se está trabajando, que en este caso es 2, por ser el binario, y se eleva al número de variables que se van a utilizar. El resultado es el número de combinaciones que se pueden conseguir entre las entradas sin que se repitan.

Los valores de ceros y unos de las filas corresponden al número de orden en decimal codificado en binario, siendo el número más bajo el que está en la fila superior y el más alto en la fila inferior.

| Dos variables | Tres variables | Cuatro variables |
|---|---|---|
| $2^2 = 4$ | $2^3 = 8$ | $2^4 = 16$ |

| | A | B | Q |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | |
| 1 | 0 | 1 | |
| 2 | 1 | 0 | |
| 3 | 1 | 1 | |

| | A | B | C | Q |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 1 | 0 | 0 | 1 | |
| 2 | 0 | 1 | 0 | |
| 3 | 0 | 1 | 1 | |
| 4 | 1 | 0 | 0 | |
| 5 | 1 | 0 | 1 | |
| 6 | 1 | 1 | 0 | |
| 7 | 1 | 1 | 1 | |

| | A | B | C | D | Q |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | |
| 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 5 | 0 | 1 | 0 | 1 | |
| 6 | 0 | 1 | 1 | 0 | |
| 7 | 0 | 1 | 1 | 1 | |
| 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| 9 | 1 | 0 | 0 | 1 | |
| 10 | 1 | 0 | 1 | 0 | |
| 11 | 1 | 0 | 1 | 1 | |
| 12 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| 13 | 1 | 1 | 0 | 1 | |
| 14 | 1 | 1 | 1 | 0 | |
| 15 | 1 | 1 | 1 | 1 | |

**Tabla 9.5.** Tablas de la verdad de dos, tres y cuatro variables.

## Saber más

### Tablas de la verdad: truco

Una forma rápida y simple de ordenar las filas de una tabla de la verdad consiste en hacer lo siguiente:

1. Calcula el número de posibilidades en función del número de variables.
2. Completa la columna de la variable que está más a la derecha, alternado en cada fila un 0 y un 1.
3. Completa hacia la derecha las siguientes columnas, poniendo de forma contigua el doble de unos y ceros que la columna anterior.

De esta forma, podrás hacer tablas de la verdad sin posibilidad de equivocarte.

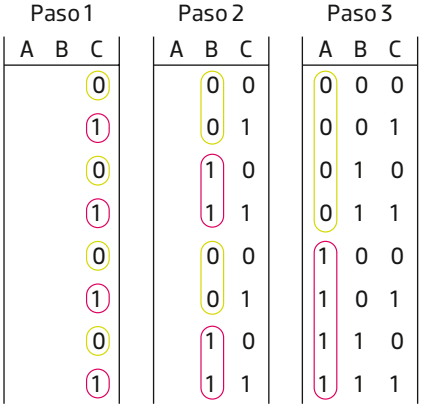



**Figura 9.12.** Método de crear a «mano» tablas de la verdad.

## Actividades

**1.** Dibuja en tu cuaderno una tabla de la verdad para cinco variables de entrada (A, B, C, D y E). ¿Cuántas combinaciones son posibles con este número de variables? Y si el número de variables fuese seis, ¿cuántas combinaciones serían posibles para la tabla de la verdad?

## 3.4. Funciones lógicas

Las funciones lógicas son operaciones del álgebra de Boole que permiten obtener un resultado sobre una salida en función de los estados de sus entradas.

A continuación, se muestran las funciones lógicas más comunes, mostrándose en cada una de ellas su función matemática dentro del álgebra de Boole, su representación gráfica en forma de puerta lógica, tanto en la simbología IEC como en la ANSI, su tabla de la verdad y su circuito eléctrico equivalente.

Debido a su amplia utilización, los esquemas de electrónica digital de este libro se han diseñado según la simbología ANSI en lugar de la IEC.

La funciones lógicas son conocidas por su denominación en inglés: AND, OR, etc., aunque también es posible utilizarlas por su traducción al castellano, Y, O, etc.

### 3.4.1. Función directa

También denominada función igualdad o función SI. Es el equivalente a un interruptor normalmente abierto de un circuito eléctrico.

En electrónica esta función es un amplificador o *buffer*.

### 3.4.2. Función NOT (NO o negación)

Es la operación inversa a la anterior, y es equivalente a utilizar un contacto normalmente cerrado en reposo.

### 3.4.3. Función AND (Y)

También denominada operación producto, tiene un comportamiento similar a interruptores en serie.

### 3.4.4. Función OR (O)

También conocida como operación suma, es equivalente a interruptores en paralelo.

### 3.4.5. Función NAND (NO Y)

Es la función inversa a la función AND. El símbolo es parecido al de esta, pero con una negación en su salida. Su comportamiento es similar a dos pulsadores en paralelo normalmente cerrados.

### 3.4.6. Función NOR (NO O)

Es la función inversa de la función OR.

### 3.4.7. Función XOR (O exclusiva)

Se representa con el símbolo de suma directa $\oplus$. Su funcionamiento es equivalente a un circuito conmutado. El resultado desarrollado de esta función es:

$$Q = A \oplus B = \overline{A}B + A\overline{B}$$

### 3.4.8. Función NXOR (NO O exclusiva)

Es la función inversa a la función XOR.

A continuación se muestra una tabla con los símbolos, tablas de la verdad, ecuaciones lógicas y circuitos equivalentes de cada una de las funciones lógicas anteriormente nombradas.

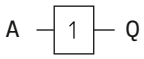
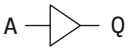
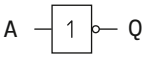
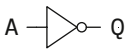
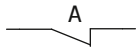
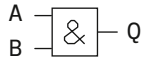
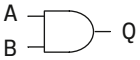
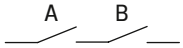
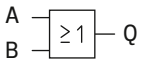
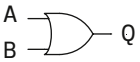
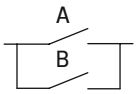
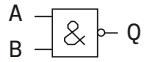
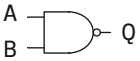
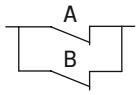
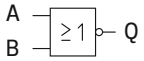
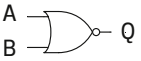
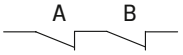
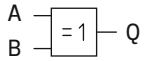
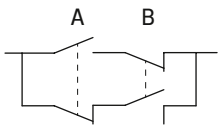
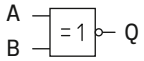
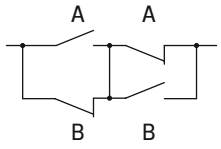
| Función | Tabla de la verdad | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Ecuación lógica | Circuito equivalente |
|---|---|---|---|---|---|
| SI | A \| Q<br>0 \| 0<br>1 \| 1 |  |  | $Q = A$ | |
| NO | A \| Q<br>0 \| 1<br>1 \| 0 |  |  | $Q = \overline{A}$ |  |
| AND (Y) | A B \| Q<br>0 0 \| 0<br>0 1 \| 0<br>1 0 \| 0<br>1 1 \| 1 |  |  | $Q = A \cdot B$ |  |
| OR (O) | A B \| Q<br>0 0 \| 0<br>0 1 \| 1<br>1 0 \| 1<br>1 1 \| 1 |  |  | $Q = A + B$ |  |
| NAND | A B \| Q<br>0 0 \| 1<br>0 1 \| 1<br>1 0 \| 1<br>1 1 \| 0 |  |  | $Q = \overline{A \cdot B}$ |  |
| NOR | A B \| Q<br>0 0 \| 1<br>0 1 \| 0<br>1 0 \| 0<br>1 1 \| 0 |  |  | $Q = \overline{A + B}$ |  |
| XOR | A B \| Q<br>0 0 \| 0<br>0 1 \| 1<br>1 0 \| 1<br>1 1 \| 0 |  | | $Q = A \oplus B$ |  |
| NXOR | A B \| Q<br>0 0 \| 1<br>0 1 \| 0<br>1 0 \| 0<br>1 1 \| 1 |  | | $Q = \overline{A \oplus B}$ |  |

**Tabla 9.6.** Funciones lógicas.

### 3.4.9. Funciones de más de dos entradas

Las funciones lógicas pueden disponer de más de dos entradas. En estos casos, al símbolo lógico se le añaden las líneas necesarias de entrada. La tabla de la verdad se debe construir con todas las posibles combinaciones que existen, y en la ecuación lógica se representan las operaciones con todas las variables.

## Recuerda

Para facilitar el diseño de esquemas lógicos, es aconsejable trazar líneas de señal como las mostradas en la figura. De esta forma, el circuito «cuelga» de ellas en función de cómo se necesiten las señales, negadas o sin negar.

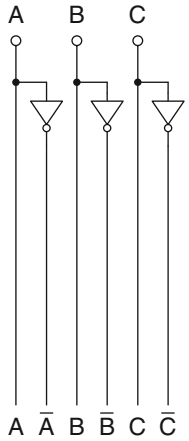



**Figura 9.14.** Líneas de señal para diseño de esquemas lógicos.

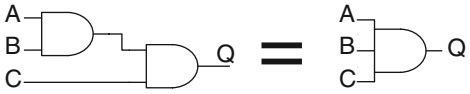
Una puerta lógica de tres o más entradas puede construirse conectando en cascada puertas de dos entradas.

A modo de ejemplo, a continuación se muestra una función AND de tres entradas.

Tabla de la verdad

| A | B | C | Q |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 |

Circuito y símbolo lógico:




Ecuación lógica:

$Q = A \cdot B \cdot C$

**Figura 9.13.** Representación de una puerta lógica de tres entradas.

## 3.5. Obtención de ecuaciones lógicas a partir del circuito

Para obtener la ecuación lógica resultante de un circuito lógico previamente representado, se lee el esquema de izquierda a derecha, escribiendo el resultado lógico que se va acumulando en cada bloque. De esta forma, se consigue el valor de la función sin dar lugar a errores.

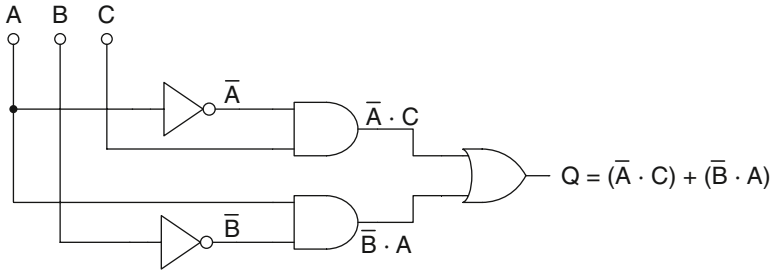



**Figura 9.15.** Ejemplo de la obtención de una ecuación lógica a partir de un circuito.

## Actividades

**2.** Escribe las ecuaciones lógicas de los siguientes circuitos:

Circuito 1

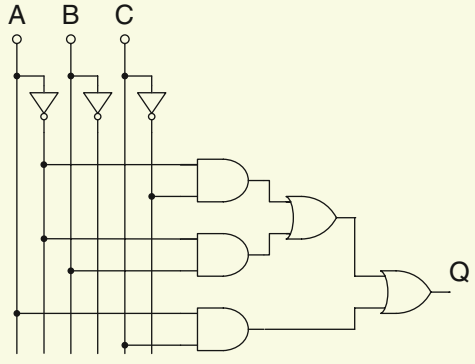



**Figura 9.16.** Circuito lógico 1.

Circuito 2

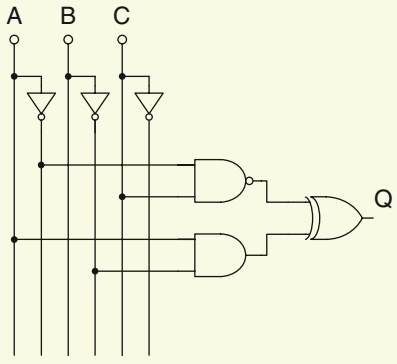



**Figura 9.17.** Circuito lógico 2.

## 3.6. Tabla de la verdad a partir de una ecuación lógica

Para conseguir una tabla de la verdad partiendo de una expresión booleana o ecuación lógica, lo que hay que hacer es sustituir el valor que tiene cada una de las variables en la fila de la tabla de la verdad y operar con ellas matemáticamente.

Sirva como ejemplo el paso a tabla de la verdad de la siguiente ecuación lógica:

$$Q = (\overline{A} \cdot B) + \overline{C}$$

| A | B | C | Operación | Q |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | $(\overline{0} \cdot 0) + \overline{0} = (1 \cdot 0) + 1$ | 1 |
| 0 | 0 | 1 | $(\overline{0} \cdot 0) + \overline{1} = (1 \cdot 0) + 0$ | 0 |
| 0 | 1 | 0 | $(\overline{0} \cdot 1) + \overline{0} = (1 \cdot 1) + 1$ | 1 |
| 0 | 1 | 1 | $(\overline{0} \cdot 1) + \overline{1} = (1 \cdot 1) + 0$ | 1 |
| 1 | 0 | 0 | $(\overline{0} \cdot 1) + \overline{1} = (1 \cdot 1) + 0$ | 1 |
| 1 | 0 | 1 | $(\overline{1} \cdot 0) + \overline{1} = (0 \cdot 0) + 0$ | 0 |
| 1 | 1 | 0 | $(\overline{1} \cdot 1) + \overline{0} = (0 \cdot 1) + 1$ | 1 |
| 1 | 1 | 1 | $(\overline{1} \cdot 1) + \overline{1} = (0 \cdot 1) + 0$ | 0 |

**Tabla 9.7.** Ejemplo de tabla de la verdad a partir de una ecuación lógica.

## 3.7. Ecuación lógica a partir de tabla de la verdad

Partiendo de una tabla de la verdad, es posible obtener su expresión lógica y con ella el circuito lógico correspondiente. Para ello, se deben tener en cuenta las filas en las que la salida Q está a 1 o las filas en las que Q está a 0.

Si se eligen las filas donde Q = 1, de cada una de ellas se saca el producto de sus variables, teniendo en cuenta el signo (1: no negada y 0: negada). Cada uno de estos términos recibe el nombre de «término mínimo» o «minterm» y la expresión final es el resultado de sumar dichos términos. Es decir, se realiza una suma de productos.

| Número | A | B | C | Q | Términos mínimos |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C}$ |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | $\overline{A} \cdot \overline{B} \cdot C$ |
| 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 3 | 0 | 1 | 1 | 1 | $\overline{A} \cdot B \cdot C$ |
| 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| 5 | 1 | 0 | 1 | 0 | |
| 6 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| 7 | 1 | 1 | 1 | 1 | $A \cdot B \cdot C$ |

Exprexión lógica resultante:

$$Q = \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C} + \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot C + \overline{A} \cdot B \cdot C + A \cdot B \cdot C$$

**Figura 9.18.** Ecuación lógica a partir de los términos mínimos de una tabla de la verdad.

### Recuerda

Propiedades del álgebra de Boole:

$$1 + 0 = 0$$
$$1 + 1 = 1$$
$$1 \cdot 1 = 1$$
$$0 \cdot 1 = 0$$
$$A + A = A$$
$$A \cdot A = A$$
$$\overline{\overline{A}} = A$$
$$A + \overline{A} = 1$$
$$A \cdot \overline{A} = 0$$

### Saber más

La negación de las variables también se puede expresar con el símbolo del apóstrofe:

$$A' = \overline{A}$$

### Saber más

Los números de 8 bits se denominan *bytes*.

Los números de 16 bits se denominan *words*.

Si, por el contrario, lo que se elige son las filas en las que Q = 0, las variables deben operar en formato de suma, pero invirtiendo el signo respecto a la tabla de la verdad, es decir, donde hay un 0, la variable debe estar sin negar y donde hay un 1 la variable estar negada. Cada uno de estos resultados recibe el nombre de «término máximo» o «maxterm», y la expresión resultante es el producto de todos ellos. Es decir, se realiza un producto de sumas, con los signos de las variables cambiados respecto a la tabla de la verdad.

| Número | A | B | C | Q | Términos máximos |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | |
| 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | $A + \overline{B} + C$ |
| 3 | 0 | 1 | 1 | 1 | |
| 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | $\overline{A} + B + C$ |
| 5 | 1 | 0 | 1 | 0 | $\overline{A} + B + \overline{C}$ |
| 6 | 1 | 1 | 0 | 0 | $\overline{A} + \overline{B} + C$ |
| 7 | 1 | 1 | 1 | 1 | |

Exprexión lógica resultante:

$$Q = (A + \overline{B} + C)\,(\overline{A} + B + C)\,(\overline{A} + B + \overline{C})\,(\overline{A} + \overline{B} + C)$$

**Figura 9.19.** Ecuación lógica a partir de los términos máximos de una tabla de la verdad.

## Saber más

Forma abreviada de la ecuación de *minterms:*

$$Q = \sum_{3}(0, 1, 3, 7)$$

Forma abreviada de la ecuación de *maxterms:*

$$Q = \prod_{3}(2, 4, 5, 6)$$

En ocasiones, para sintetizar las ecuaciones basadas en términos mínimos o en términos máximos, se suele utilizar expresiones abreviadas, en las que solamente se indica el número de orden de la fila, que es en realidad el número de su codificación en binario que forman las variables. Así, para indicar que es una suma de productos, se utiliza el singo sumatorio ($\Sigma$), y para indicar que es un producto de sumas el signo productorio ($\Pi$). En ambos casos, el número que aparece debajo de ellos es el número de variables de entrada de que utiliza la expresión lógica.

## Actividades

**3.** Obtén las tablas de la verdad de las siguientes ecuaciones lógicas:

a) $Q = (\overline{A} \cdot B) + A \cdot C$

b) $Q = \overline{(A + B)} \cdot \overline{C}$

c) $Q = \overline{A} \cdot \overline{B} + \overline{A} \cdot C + \overline{B} \cdot C$

**4.** Escribe las ecuaciones lógicas de las siguientes tablas de la verdad expresadas en términos mínimos.

a)

| A | B | Q |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

b)

| A | B | C | Q |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 |

c)

| A | B | C | Q |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 |

**5.** Escribe las ecuaciones lógicas de las tablas de la actividad anterior expresadas en términos máximos.

**6.** Escribe las formas abreviadas (con los signos de sumario y productorio) de las ecuaciones obtenidas en las dos actividades anteriores.

## 3.8. Simplificación de ecuaciones lógicas

El uso de términos máximos o términos mínimos es una buena forma de obtener una expresión lógica a partir de una tabla de la verdad. No obstante, la ecuación resultante puede resultar excesivamente larga. En ocasiones, dicha ecuación se puede simplificar y obtener así otra mucho más corta pero completamente equivalente y con el mismo resultado lógico.

El siguiente ejemplo muestra la ecuación de términos mínimos utilizada en el ejemplo anterior y su equivalente simplificada.

$$Q = (\overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C}) + (\overline{A} \cdot \overline{B} \cdot C) + (\overline{A} \cdot B \cdot C) + (A \cdot B \cdot C)$$

$$Q = (\overline{A} \cdot \overline{B}) + (B \cdot C)$$

Existen varios métodos para simplificar ecuaciones lógicas, no obstante, el más utilizado y más sencillo de implementar es el denominado «simplificación mediante mapas de Karnaugh».

### 3.8.1. Simplificación de con mapas de Karnaugh

Es un método gráfico que permite simplificar con facilidad sistemas de hasta cuatro variables.

Lo primero que hay que realizar es el mapa, o tabla, en el que se representen todas las posibilidades de combinación entre las variables. De esta forma, si se dispone de dos variables, la tabla tiene cuatro celdas; si se dispone de tres variables, ocho celdas, y si es de cuatro, dieciséis celdas.

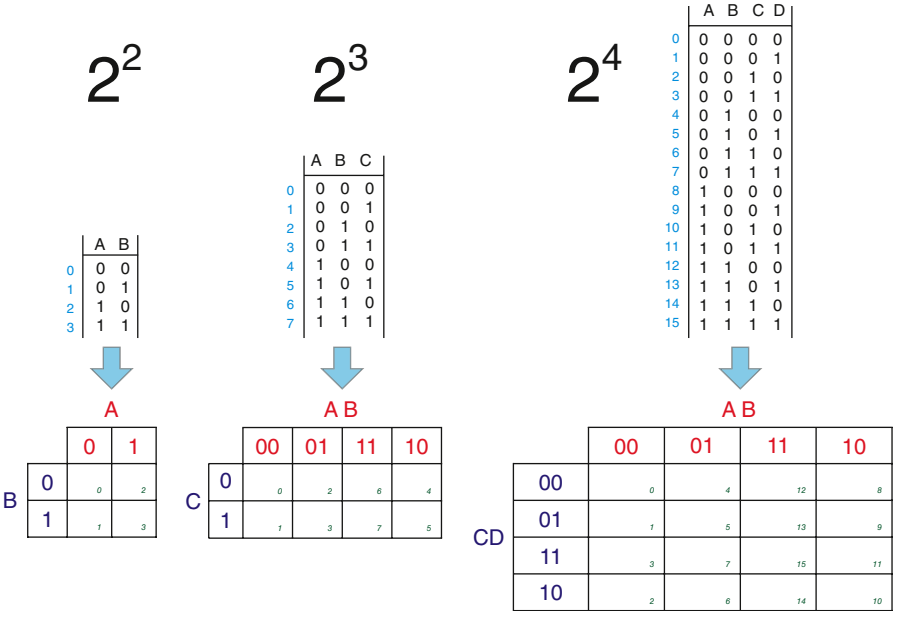



**Figura 9.20.** Mapas de Karnaugh de dos, tres y cuatro variables.

Si se toma como ejemplo el mapa de Karnaugh de cuatro variables, dos de ellas se colocan en horizontal y las otras dos en vertical. El orden de dos en dos de estas variables se hace de la siguiente forma: 00-01-11-10, en la que se observa que el cambio de valor entre columnas (o filas cuando corresponda) se hace haciendo coincidir el valor de la variable de la columna anterior. De esta forma, si se lee la consecución de variables, se debe comprobar que las variables que unen las columnas (o filas) deben coincidir en valor. Esto es debido a que utilizan un código de numeración denominado Gray, que atiende a dicho patrón.

### Recuerda

Al elaborar los mapas de Karnaugh, es aconsejable escribir en la celda el número en decimal que corresponde con su codificación en binario. De esta forma, será mucho más sencillo y rápido ubicar los valores de la salida desde la tabla de la verdad.

### Saber más

Los mapas de Karnaugh se pueden utilizar también para resolver sistemas de más de cuatro variables. No obstante, debido su largo y elaborado desarrollo, no se estudiarán en este libro. Para la resolución de estos sistemas, es aconsejable utilizar cualquiera de las aplicaciones informáticas que existen diseñadas para ello.

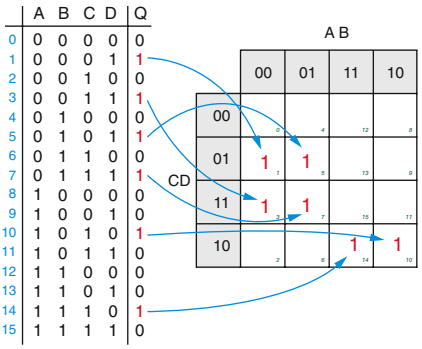



**Figura 9.21.** Ubicación de los resultados con valor 1 en un mapa de Karnaugh.

## Desarrollo de la simplificación

1. Se dibuja el mapa en función del número de variables.
2. Partiendo de la tabla de la verdad, se ubican en el mapa los «unos» del valor de la salida.

   Se puede trabajar por términos máximos, teniendo en cuenta los «ceros», o por términos mínimos, teniendo en cuenta los «unos». No obstante, aquí se ha optado por realizar la simplificación por *minterms*, ya que es más inmediata y sencilla de implementar.
3. Se realizan grupos de 1, 2, 4, 8 o 16 «unos» que estén en celdas contiguas, teniendo en cuenta que las agrupaciones solamente se pueden efectuar en horizontal y en vertical y nunca en diagonal.

   Hay que intentar realizar grupos con el mayor número de «unos» posibles, ya que cuanto mayor es el grupo, más simplificado será el resultado, pudiéndose formar grupos con «unos» que se encuentran incluidos en otros.

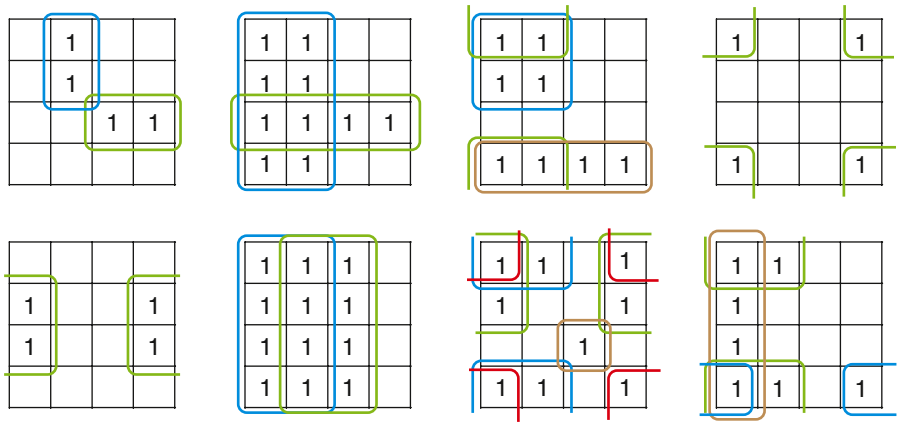


**Figura 9.22.** Ejemplos de posibles agrupaciones en mapas de Karnaugh.

## Recuerda

Debes saber que:

$$\overline{A \cdot B} \neq \overline{A} \cdot \overline{B}$$

$$\overline{A + B} \neq \overline{A} + \overline{B}$$

4. Los *minterms* de un mismo grupo se escriben uno debajo de otro, y se eliminan aquellos términos que tienen valores negados y sin negar en la misma columna. Las variables que no cambian de valor se muestran como el resultado del grupo en forma de producto.

   Con la práctica, esta operación puede resolverse mentalmente.
5. El valor de la expresión para la salida Q se obtiene sumando los resultados simplificados de cada grupo.

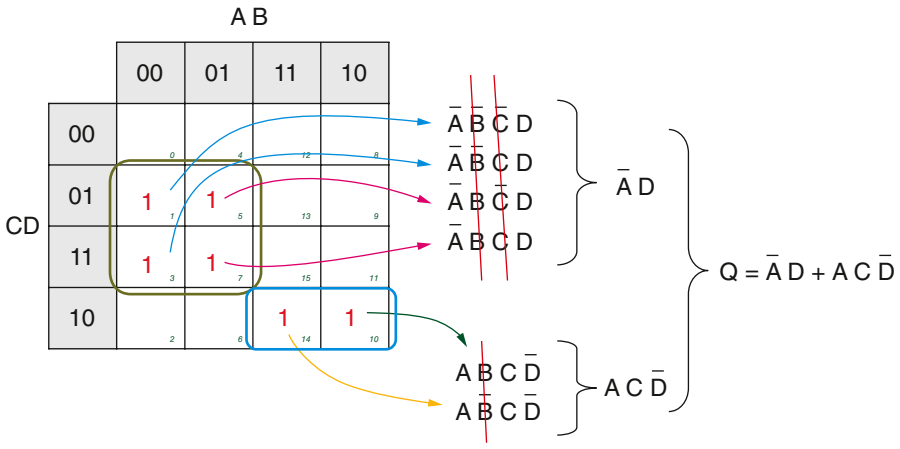



**Figura 9.23.** Simplificación de los grupos y obtención de la expresión resultante.

# 4. Circuitos integrados de puertas lógicas

En electrónica digital, el uso de las funciones lógicas se hace mediante circuitos integrados digitales o de puertas lógicas. Así, dependiendo del número de entradas, estos integrados pueden contener una o más puertas lógicas.

Existen principalmente dos familias de circuitos integrados digitales:

- **TTL**, cuyas iniciales corresponden a la denominación en inglés *transistor transistor logic*, es una tecnología que basa su funcionamiento en base a transistores bipolares.
- **CMOS**, cuyas iniciales corresponden con *complementary metal oxide-semiconductor*, es una tecnología que funciona en base a transistores de efecto de campo MOSFET.

Ambas tienen sus ventajas e inconvenientes. A continuación se muestran los más significativos:

| Familia TTL | Familia CMOS |
|---|---|
| **Ventajas** | |
| ■ Más rápido<br>■ No es sensible a la electricidad estática | ■ Bajo consumo<br>■ Ocupa menos espacio en el núcleo del integrado |
| **Inconvenientes** | |
| ■ Mayor consumo que su equivalente en CMOS | ■ Conmutación más lenta<br>■ Se puede destruir con facilidad por electricidad estática |

**Tabla 9.8.** Ventajas e inconvenientes de los circuitos integrados de puertas lógicas.

La tecnología TTL está diseñada para trabajar como máximo de 5 V y la CMOS puede ser alimentada con tensiones entre 3 y 18 V.

La familia CMOS identifica con la numeración 40xx y la familia TTL con 74xx. En esta segunda, además, puede haber códigos de letras intermedios que permiten identificar el integrado dentro de alguna de las subfamilias que tiene esta serie.

A continuación, se muestra el patillaje de algunos de los modelos de circuitos integrados de puertas lógicas más característicos de ambas familias. Como puedes observar, en algunos de ellos la disposición de las puertas lógicas es idéntica en ambas familias, pero en otros no. Esto significa que, siempre vayas a trabajar con un circuito integrado, es necesario consultar su hoja de características antes de realizar su conexionado, ya que podría dañarse irremediablemente.

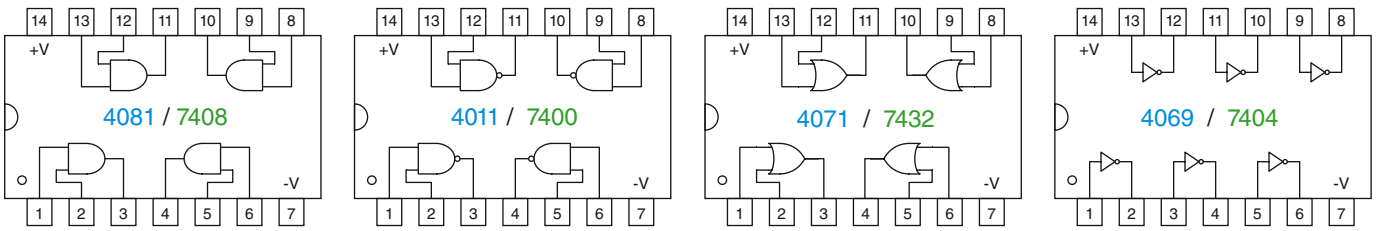



**Figura 9.24.** Circuitos integrados CMOS y TTL con el pineado coincidente.

## Saber más

### Curiosidades

El primer circuito integrado digital fue desarrollado y comercializado en 1963.

Los circuitos integrados TTL que comienzan con el número 74 pertenecen a la familia estándar. Los que comienzan con 54 son de uso militar.

Los siguientes modelos de circuitos integrados digitales disponen de la misma funcionalidad en ambas familias, pero con una configuración de patillas ligeramente diferente.

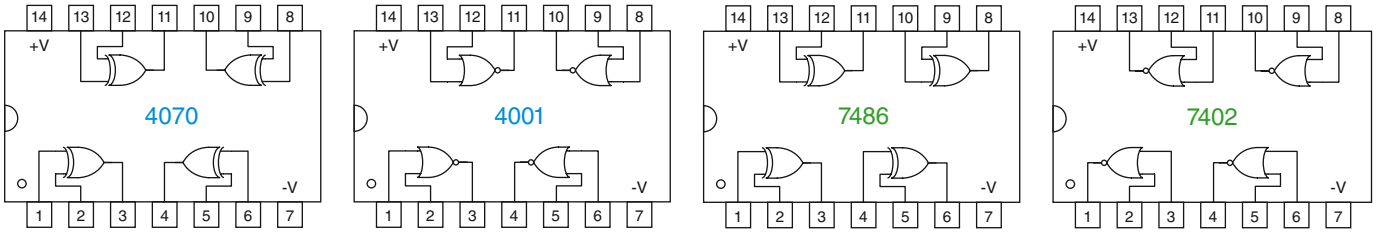



**Figura 9.25.** Circuitos integrados de ambas series con la misma funcionalidad, pero diferente configuración.

También existen modelos de circuitos integrados con puertas lógicas de más de dos entradas, como los que se muestran a continuación.

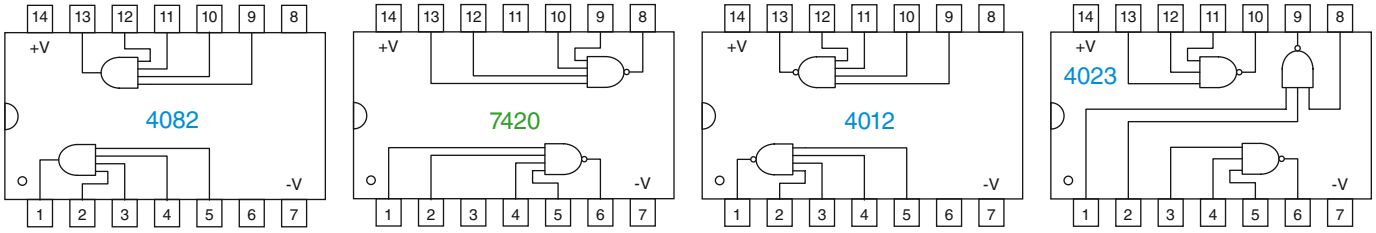



**Figura 9.26.** Circuitos integrados digitales con puertas lógicas de más de dos entradas.

# 5. Montaje y comprobación con circuitos integrados digitales

Como ya se ha dicho, los circuitos de electrónica digital montados con puertas lógicas atienden a dos niveles de tensión: el máximo que se interpreta como un 1 lógico y el mínimo como un 0 lógico. Estos valores se consiguen desde una fuente de alimentación DC cuya tensión se adapta a la familia lógica correspondiente (CMOS o TTL).

Los circuitos integrados digitales son muy sensibles a las perturbaciones y al ruido eléctrico que hay en su entorno, por lo que se pueden producir con suma facilidad cambios en los niveles lógicos de entrada cuando no son deseados, haciendo funcionar el circuito de forma anómala.

## 5.1. Resistenciasen *pull-down* y *pull-up*

Una solución sencilla y práctica de mantener estables los niveles de señal de entrada en los circuitos de puertas lógicas consiste en utilizar resistencias en las configuraciones denominadas *pull-up* y *pull-down*.

En ambos casos, se utilizan resistencias de alto valor en ohmios (4k7 o 10k), para mantener estable uno de los niveles de tensión cuando el otro no se está aplicando en el circuito de entrada.

En la configuración *pull-down*, la entrada del integrado se conecta a masa (0 V), a través de la resistencia, garantizando así el 0 lógico. Así, cuando se aplica el positivo de la fuente de alimentación a través del contacto de la figura, como no existe resistencia a su paso, a la entrada del integrado se aplica el nivel lógico alto, ya que la resistencia conectada a masa, al ser de un valor elevado, no interfiere en ello.

Así, la configuración *pull-up* funciona a la inversa del ejemplo anterior, ya que en este caso lo que se aplica a través de la resistencia es el valor de nivel alto (1 lógico), y cuando se cierra el interruptor se conmuta al nivel bajo (0 lógico).

Configuración *pull-down* para lógica positiva:

**Figura 9.27.** Resistencia *pull-down*.

Configuración *pull-up* para lógica negativa.

**Figura 9.28.** Resistencia *pull-up*.

## 5.2. Circuitos antirrebotes

Un problema que se presenta en los circuitos digitales cuando se utilizan elementos electromecánicos para la conmutación de las entradas es el de los denominados rebotes. Un rebote eléctrico es un fenómeno no deseado que se produce debido a la elasticidad de los contactos electromecánicos, y que consiste en conmutar la señal una o más veces antes de que el contacto se cierre o abra definitivamente. Esto no tiene demasiada transcendencia en los circuitos que controlan grandes cargas, sin embargo, sí que supone un problema en la electrónica digital, ya que los cambios de nivel de los rebotes son detectados por el circuito, haciéndolo funcionar de forma anómala.

Por este motivo, siempre que las señales de entrada de los circuitos digitales proceden de sensores electromecánicos, es preciso utilizar circuitos antirrebotes. Existen diferentes formas de solucionar el problema, desde las más sencillas, que utilizan circuitos basados en resistencias y condensadores, a las más optimizadas, basadas en inversores *Schmitt*, inmunizando las señales ante ruidos e interferencias.

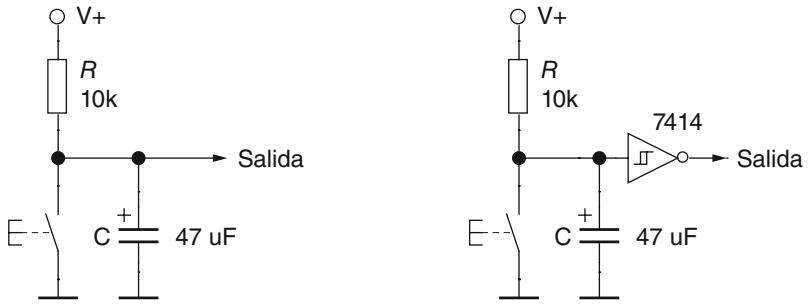



**Figura 9.31.** Circuitos antirrebotes. Izquierda, con condensador. Derecha, con inversor *Schmitt*.

### Saber más

Detalle de una señal digital con rebote en el momento de la conmutación de un contacto electromecánico.

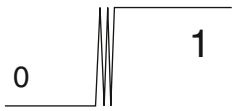



**Figura 9.29.** Rebote eléctrico.

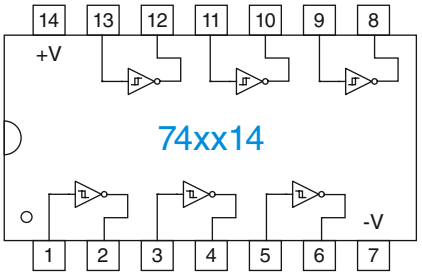



**Figura 9.30.** Circuito integrado 74xx14 con seis inversores *Schmitt*.

# PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA

## Herramientas

- Tijera
- Pinzas
- Alicates

## Material

- Placa de prototipos
- Cablecillos para placa de prototipos
- Tres resistencias de 10 kΩ
- Una resistencia de 1 kΩ
- Un diodo LED rojo
- Tres circuitos integrados: 4069, 4071, 4081
- Tres pulsadores para placa de circuito impreso

# Comprobación de un circuito con puertas lógicas

## Objetivo

- Identificar los terminales de algunos circuitos integrados de puertas lógicas.
- Montar y probar un circuito de electrónica digital básica basado en puertas lógicas.
- Analizar un circuito lógico básico, obtener su expresión lógica y la tabla de la verdad.

## Precauciones

- Consultar la hoja de características de los integrados que se van a utilizar.
- No utilizar una fuente de tensión de voltaje superior al que requieren los circuitos integrados.

## Desarrollo

1. Fíjate en el circuito lógico del margen y obtén su ecuación lógica.
2. Partiendo de la ecuación lógica, monta una tabla de la verdad de tres variables y calcula el resultado para la salida.

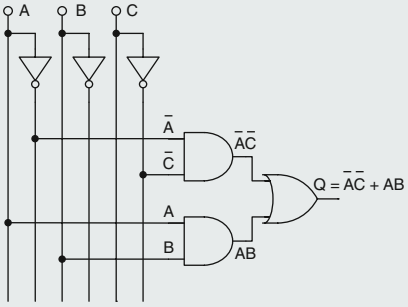



**Figura 9.32.** Circuito lógico.

$$Q = \overline{A} \cdot \overline{C} + A \cdot B$$

| A | B | C | Operación | Q |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | $(\overline{0} \cdot \overline{0}) + (0 \cdot 0) = (1 \cdot 1) + (0 \cdot 0) = 1$ | 1 |
| 0 | 0 | 1 | $(\overline{0} \cdot \overline{1}) + (0 \cdot 0) = (1 \cdot 0) + (0 \cdot 0) = 0$ | 0 |
| 0 | 1 | 0 | $(\overline{0} \cdot \overline{0}) + (0 \cdot 1) = (1 \cdot 1) + (0 \cdot 1) = 1$ | 1 |
| 0 | 1 | 1 | $(\overline{0} \cdot \overline{1}) + (0 \cdot 1) = (1 \cdot 0) + (0 \cdot 1) = 0$ | 0 |
| 1 | 0 | 0 | $(\overline{1} \cdot \overline{0}) + (1 \cdot 0) = (0 \cdot 1) + (1 \cdot 0) = 0$ | 0 |
| 1 | 0 | 1 | $(\overline{1} \cdot \overline{1}) + (1 \cdot 0) = (0 \cdot 0) + (1 \cdot 0) = 0$ | 0 |
| 1 | 1 | 0 | $(\overline{1} \cdot \overline{0}) + (1 \cdot 1) = (0 \cdot 1) + (1 \cdot 1) = 1$ | 1 |
| 1 | 1 | 1 | $(\overline{1} \cdot \overline{1}) + (1 \cdot 1) = (0 \cdot 0) + (1 \cdot 1) = 1$ | 1 |

**Tabla 9.9.** Tabla de la verdad del circuito lógico.

3. Selecciona los circuitos integrados de la familia CMOS que necesites para montar el circuito, que en este caso son:

   a) 4069 – 6 puertas inversoras  b) 4081 – 4 puertas AND  c) 4071 - 4 Puertas OR

4. Consulta su hoja de características e identifica su pineado.

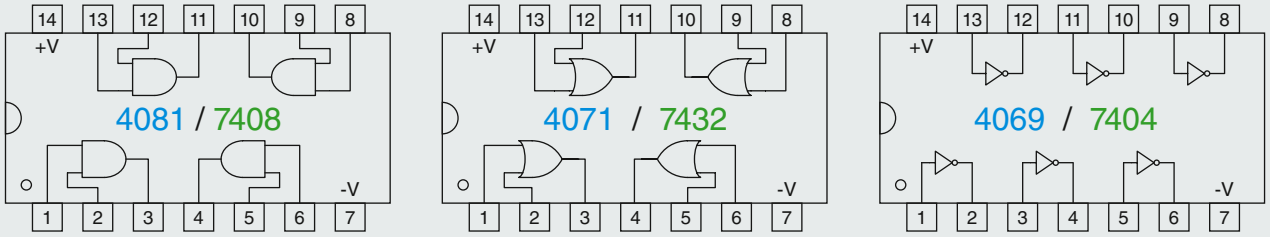



**Figura 9.33.** Circuitos integrados para montar el circuito lógico.

5. Pincha los circuitos integrados en una placa de prototipos y conecta los cables de alimentación. En todos los integrados el terminal 14 es el positivo, y el terminal 7 el negativo o masa.
6. Realiza el montaje completo según el siguiente esquema, en el que se muestra la conexión de los pulsadores a las entradas mediante resistencias *pull-down*. Como elemento de prueba en la salida Q, conecta un diodo LED con su respectiva resistencia de polarización.

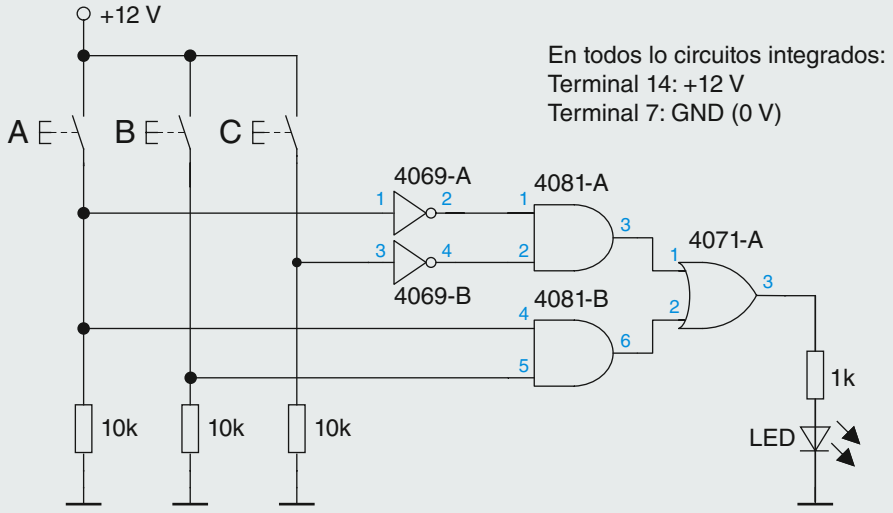



**Figura 9.34.** Esquema para montar.

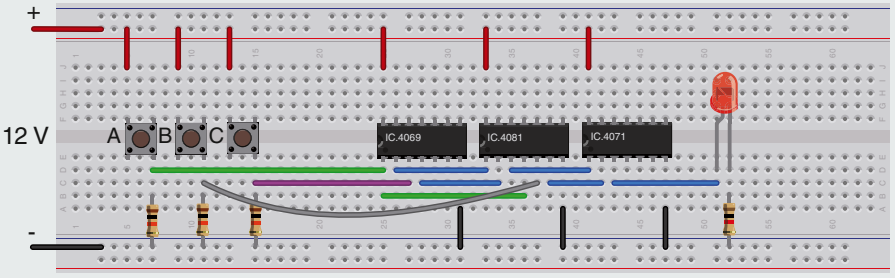



**Figura 9.35.** Montaje del circuito lógico sobre placa de prototipos (dibujado con Fritzing).

7. Alimenta el circuito a una tensión de 12 $V_{DC}$.
8. Acciona los pulsadores según la tabla de la verdad, y coteja que el resultado de Q es correcto.

# TEST DE EVALUACIÓN

RESUELVE EN TU CUADERNO O BLOC DE NOTAS

**1. ¿Con qué valores trabaja una señal digital?**

a) Entre 0 y 5 V en TTL.
b) Menos de 10 V.
c) Solo 0 y 1.
d) Menos de 18 V si la frecuencia es de 10 kHz.

**2. Las señales lógicas, ¿qué otro nombre reciben?**

a) Señales booleanas.
b) Señales analógicas.
c) Señales de alta frecuencia.
d) Señales rectificadas.

**3. ¿Cuál de estos sistemas de numeración trabaja con dieciséis símbolos?**

a) El binario.
b) El decimal.
c) El octal.
d) El hexadecimal.

**4. ¿A qué número en decimal corresponde este número en binario: 1001?**

a) 1001.
b) 9.
c) 10.
d) 19.

**5. ¿Cuántos números en decimal se pueden formar con un número en binario de cuatro bits?**

a) 4.
b) 8.
c) 16.
d) 32.

**6. Si nos encontramos con la siguiente expresión lógica $Q = A + B + C$, estamos hablando de una función lógica:**

a) AND.
b) XOR.
c) NXOR.
d) OR.

**7. La expresión lógica de una función NAND es:**

a) $Q = \overline{A + B}$.
b) $Q = A + B$.
c) $Q = A \oplus B$.
d) $Q = \overline{A \oplus B}$.

**8. La expresión $Q = A \oplus B$ es lo mismo que:**

a) $Q = A\overline{B} + \overline{A}\overline{B}$.
b) $Q = \overline{A\overline{B}} + \overline{A}\overline{B}$.
c) $Q = \overline{A\overline{B}} + AB$.
d) $Q = \overline{\overline{A}\overline{B}} + \overline{AB}$.

**9. Una ecuación con términos mínimos es:**

a) Una suma de sumas.
b) Una suma de productos.
c) Un producto de productos.
d) Un producto de sumas.

**10. Di cuál de estas afirmaciones no es correcta en relación a la familia de puertas lógicas TTL respecto a la CMOS:**

a) Consume menos.
b) Es más rápida que la CMOS.
c) Es más rápida en la conmutación.
d) No es sensible a la electricidad estática.

# ACTIVIDADES FINALES

**1.** Utiliza la calculadora de tu ordenador y completa en tu cuaderno la siguiente tabla con los números en el sistema de numeración que se indica en las columnas.

| Decimal | Binario | Hexadecimal | Octal |
|---|---|---|---|
| 450 | ..... | ..... | ..... |
| ..... | 101110 | ..... | ..... |
| ..... | ..... | FA45 | ..... |
| ..... | ..... | ..... | 2347 |

**2.** ¿Cómo representarías los siguientes números en el código BCD?

a) $125_{(10}$
b) $2017_{(10}$
c) $110011_{(2}$
d) $255_{(10}$
e) $8C_{(16}$
f) $F0_{(16}$

**3.** Dibuja los circuitos a partir de las siguientes ecuaciones lógicas:

a) $Q = (A + B) \cdot \overline{(\overline{B} + C)}$
b) $Q = \overline{A \cdot B} + \overline{A} \cdot C$
c) $Q = \overline{A \cdot B} + \overline{A} \cdot C$
d) $Q = A \cdot B + A \cdot C + \overline{B \cdot C}$
e) $Q = (\overline{B} + \overline{C} + A) \oplus \overline{(\overline{A} \cdot D)}$

**4.** Obtén las tablas de la verdad de las ecuaciones lógicas a, b, c y d de la actividad anterior.

**5.** Utilizando un *software* de simulación electrónica, comprueba que las tablas de la verdad de los circuitos de la actividad anterior son correctas.

**6.** Escribe las ecuaciones lógicas de los siguientes circuitos lógicos.

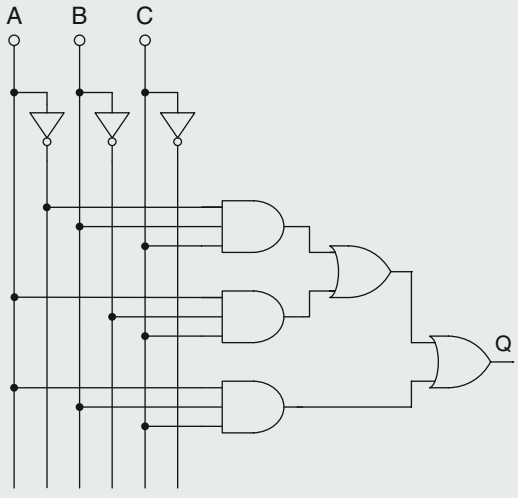



**Figura 9.36.** Circuito A.

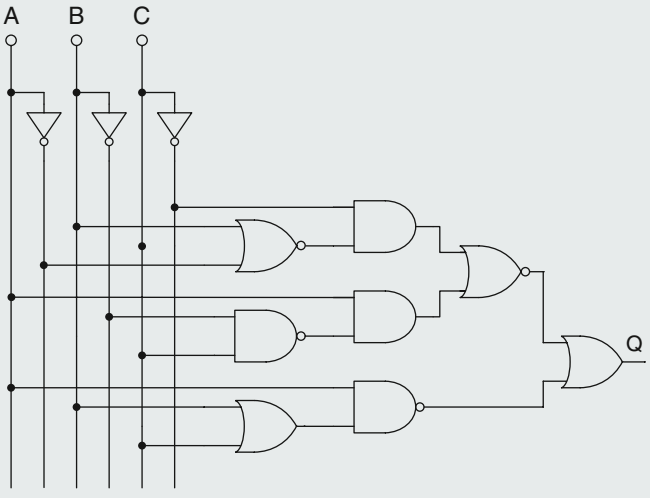



**Figura 9.37.** Circuito B.

**7.** Simula los circuitos de la actividad anterior y obtén su tabla de la verdad.

**8.** Escribe las ecuaciones de términos mínimos de las tablas de la verdad de la actividad anterior. Haz lo mismo con las ecuaciones de términos máximos.

**9.** Si es posible, simplifica por Karnaugh los dos circuitos propuestos.

**10.** Entra en internet y descárgate algún *software* gratuito de simplificación por mapas de Karnaugh y comprueba que la simplificación de la actividad anterior es correcta. Por ejemplo, *Karnaugh MapMinimize*.

# ACTIVIDADES FINALES

**11.** Monta en una placa de prototipos el siguiente circuito de puertas lógicas y comprueba que la tabla de la verdad es correcta. Dibuja el esquema completo de cómo se deben conectar los pulsadores a las entradas con resistencias *pull-down* y un LED a la salida.

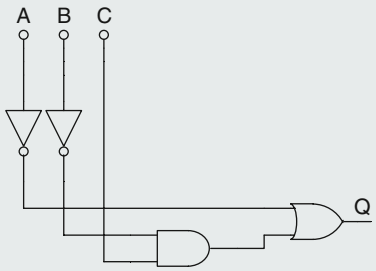



**Figura 9.38.** Circuito de actividad 11.

| Número | A | B | C | Q |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 2 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 3 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 6 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 7 | 1 | 1 | 1 | 0 |

**12.** Procede de forma similar a lo realizado en la actividad anterior con el siguiente circuito lógico:

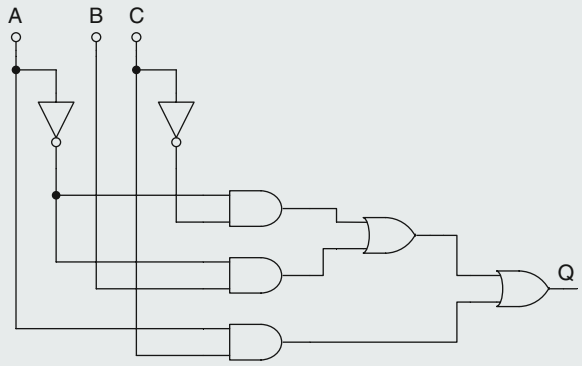



**Figura 9.39.** Circuito de la actividad 12.

| Número | A | B | C | Q |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 2 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 3 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 6 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 7 | 1 | 1 | 1 | 1 |

**13.** Simplifica por Karnaugh las siguientes tablas de la verdad y dibuja el circuito resultante.

1

| A | B | C | Q |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 |

2

| A | B | C | D | Q |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

3

| A | B | C | D | Q |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

**Tabla 9.10.** Tablas de la verdad para simplificar por Karnaugh.

**14.** Elige uno de los circuitos de cuatro variables de la actividad anterior, móntalo en una placa de prototipos y comprueba que la tabla de la verdad es correcta.

# PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 1

## Herramientas

- Ordenador y *software* de simulación de electrónica digital

# Simulación de un circuito digital con puertas lógicas

## Objetivo

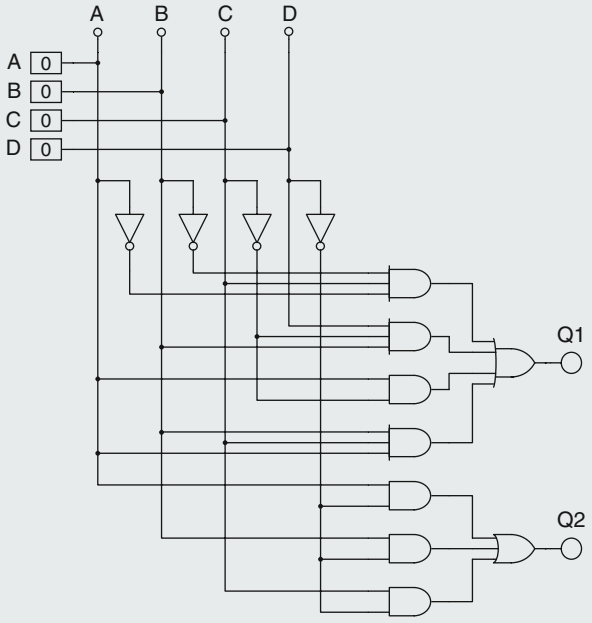
Utilizar un *software* de simulación electrónica para comprobar el funcionamiento de circuito con puertas lógicas.

## Precauciones

- Utilizar el conmutador lógico para las entradas y la lámpara de prueba para las salidas.

## Desarrollo

1. Dibuja el circuito lógico de la figura en un programa de simulación.
2. Conecta interruptores lógicos a las entradas.
3. Conecta lámparas de prueba a la salida.
4. Conmuta los interruptores lógicos según se muestra en cada una de las filas de la tabla de la verdad y comprueba que el resultado de las salidas es el correcto.




| | A | B | C | D | Q1 | Q2 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 5 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 6 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 7 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 9 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 10 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 11 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 12 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 13 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 14 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 15 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |

**Figura 9.40.** Esquema para simular y tabla de la verdad para comprobar.

5. Si tuvieses que montar el circuito en una placa de prototipos, ¿cuántos circuitos integrados necesitarías? ¿Cuáles de ellos de la familia CMOS? ¿Cuáles de la familia TTL?
6. Dibuja cómo conectarías los pulsadores de las entradas para dicho montaje en la placa de prueba.
7. Haz lo mismo mismo con diodos LED para señalizar el estado de las salidas.

# PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 2

## Herramientas

- Ordenador y *software* de simulación de electrónica digital

# Comprobación de circuitos lógicos equivalentes

## Objetivo

Utilizar un *software* de simulación electrónica para comprobar cómo dos circuitos completamente diferentes, en cuanto a su composición de puertas lógicas, tienen los mismos resultados en la tabla de la verdad.

## Precacuciones

- Utilizar el conmutador lógico para las entradas y la lámpara de prueba para las salidas.

## Desarrollo

1. Dibuja en tu cuaderno una tabla de la verdad para tres variables de entrada y dos de salida.
2. Dibuja en el programa de simulación el circuito de la izquierda de la figura.
3. Comprueba su funcionamiento accionando los interruptores lógicos de las entradas, en función de los valores de la tabla de la verdad, y anota en ella el resultado de la salida para cada una de las situaciones.
4. Haz lo mismo para el circuito representado a la derecha de la figura.
5. Comprueba que en ambos casos el resultado de la salida es el mismo.

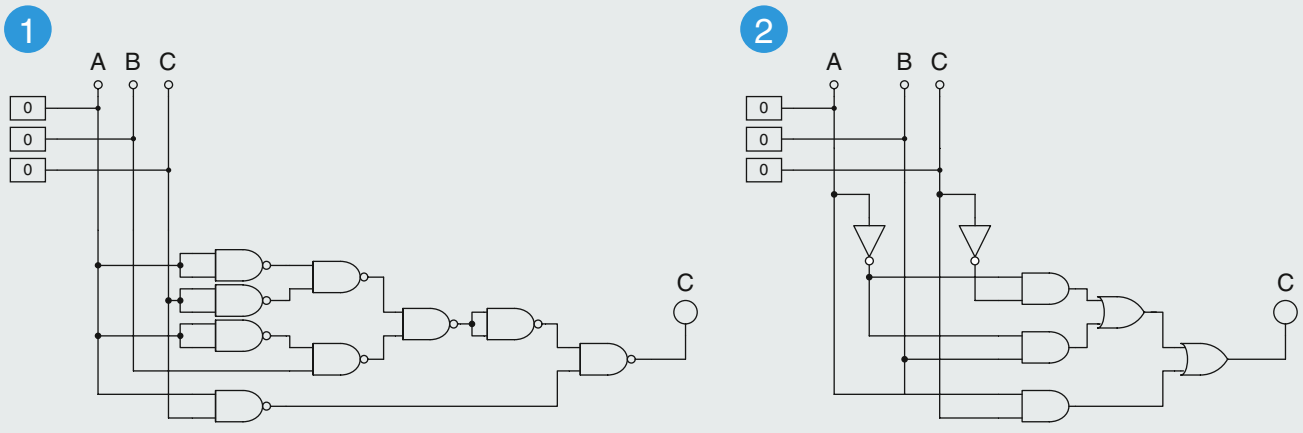
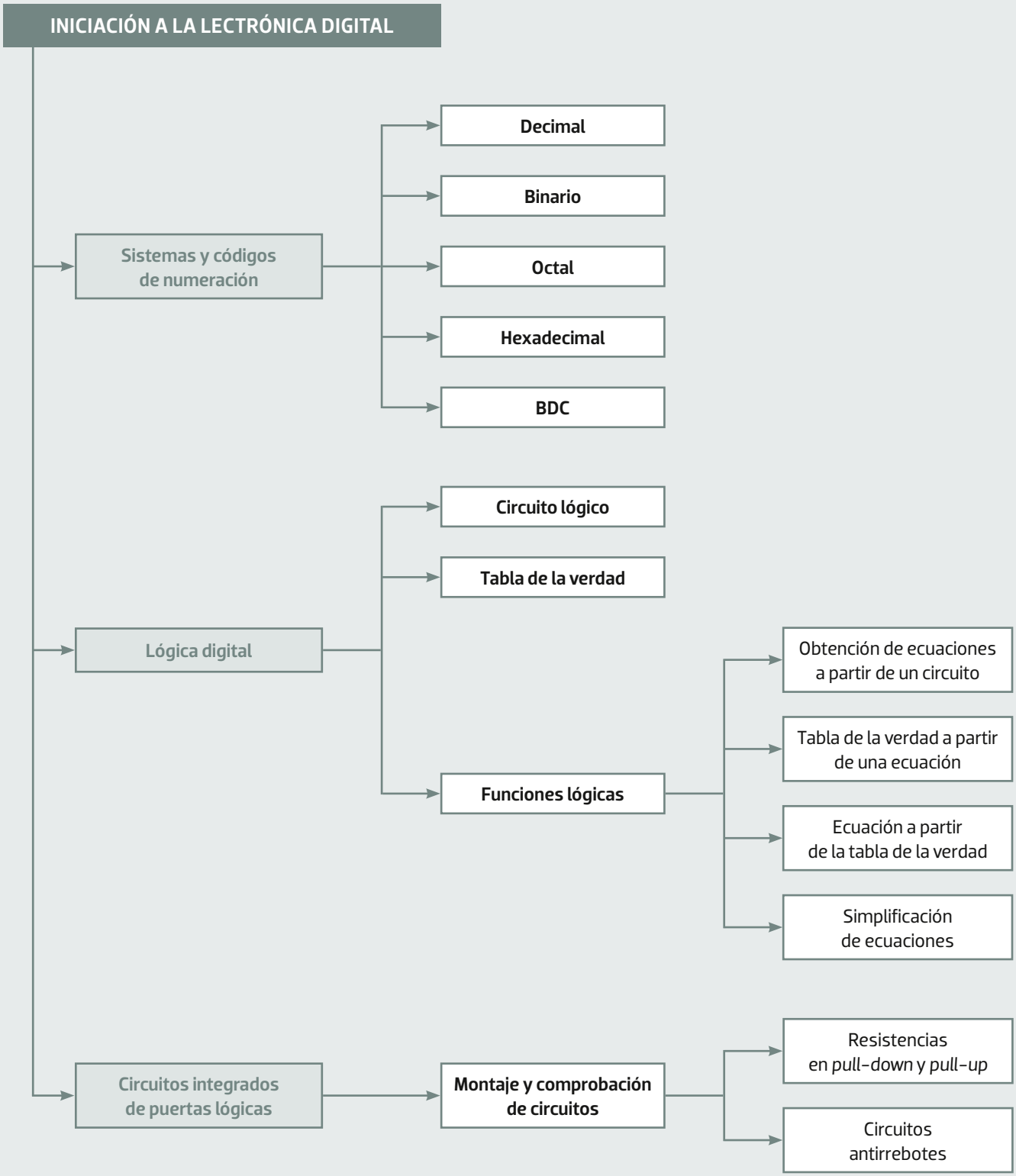


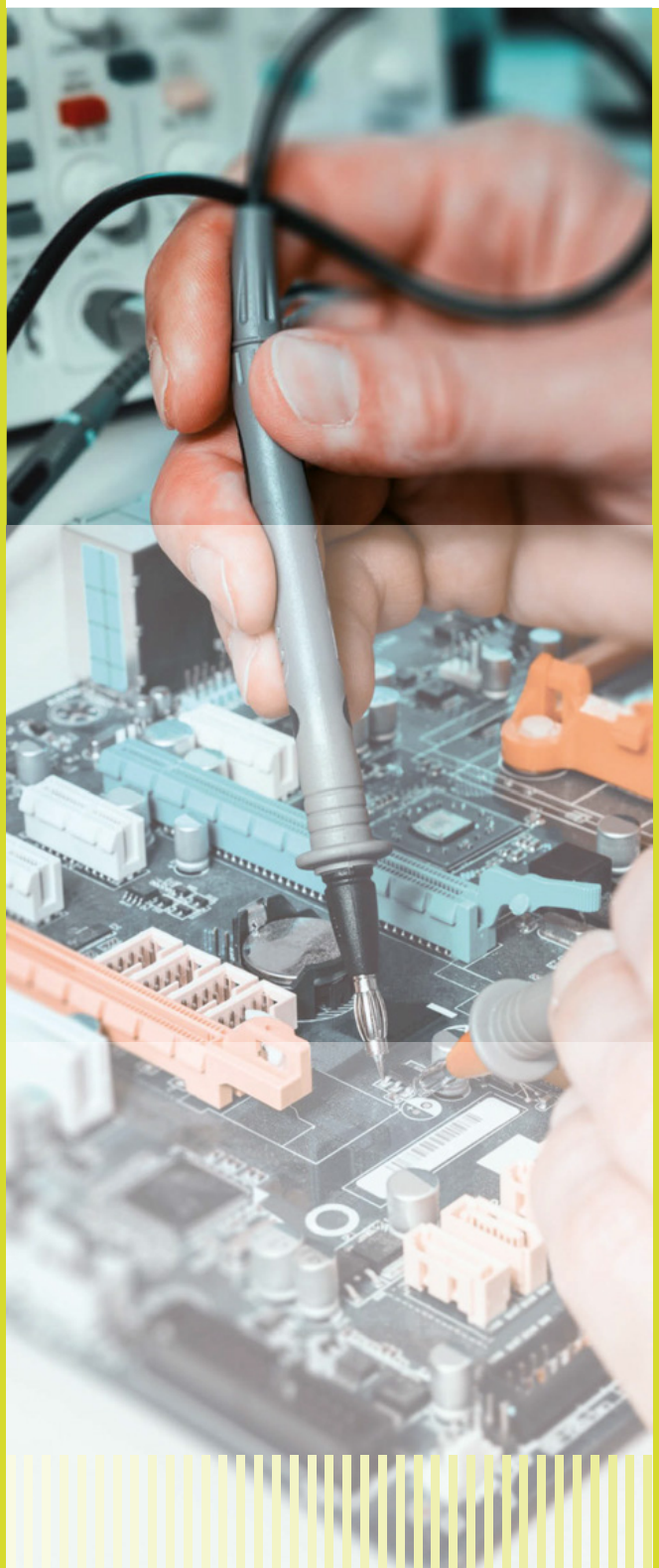

**Figura 9.41.** Esquemas para simular.

6. Contesta a las siguientes preguntas:
   a) ¿Cuántos circuitos integrados necesitarías en cada caso?¿Qué modelos de la serie CMOS?
   b) ¿Crees que alguno de los circuitos tiene alguna ventaja respecto al otro? ¿Por qué?
7. Coteja con tu compañero de mesa los resultados y observa que son los mismos.

# EN RESUMEN


INICIACIÓN A LA LECTRÓNICA DIGITAL
Sistemas y códigos de numeración
Decimal
Binario
Octal
Hexadecimal
BDC
Lógica digital
Circuito lógico
Tabla de la verdad
Funciones lógicas
Obtención de ecuaciones a partir de un circuito
Tabla de la verdad a partir de una ecuación
Ecuación a partir de la tabla de la verdad
Simplificación de ecuaciones
Circuitos integrados de puertas lógicas
Montaje y comprobación de circuitos
Resistencias en pull-down y pull-up
Circuitos antirrebotes

# 10 Circuitos digitales



## Vamos a conocer...

1. Introducción
2. Circuitos combinacionales
3. Circuitos secuenciales

PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA

Comprobación de un decodificador de 2 entradas 4 salidas

PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 1

Comprobación de un contador asíncrono de 2 bits

PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 2

Contador para *display* de 7 segmentos LED

## Y al finalizar esta unidad...

- Diferenciarás entre circuitos digitales combinacionales y secuenciales.
- Conocerás los principales circuitos combinacionales y sus aplicaciones.
- Identificarás los diferentes tipos de biestables.
- Aprenderás cómo aplicar los biestables para la construcción de circuitos secuenciales.
- Montarás y simularás diferentes circuitos combinacionales y secuenciales, montados con puertas lógicas, o mediante circuitos integrados específicos.

# 1. Introducción

En electrónica digital, podemos diferenciar dos tipos de circuitos: los denominados circuitos combinacionales y los circuitos secuenciales.

En los circuitos combinacionales, que en parte ya se han estudiado en la unidad anterior, el estado de las salidas depende única y exclusivamente del estado de las entradas. Sin embargo, en los circuitos secuenciales, los valores de las salidas dependen de ellas mismas, además del de las entradas.

**Recuerda**

Se puede decir que un circuito secuencial tiene memoria, y uno combinacional no.

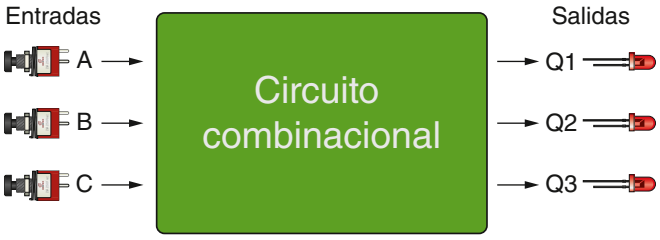



**Figura 10.1.** Circuito combinacional.

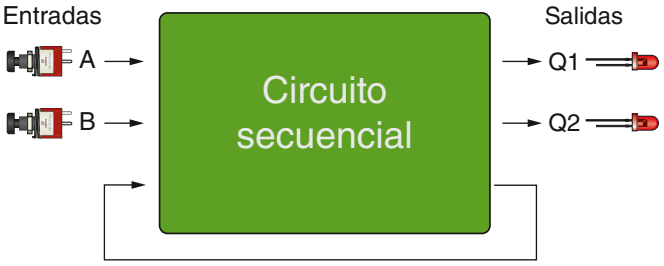



**Figura 10.2.** Circuito secuencial.

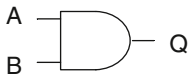
En esta unidad, se estudiarán de forma básica algunos de los circuitos combinacionales y secuenciales más significativos.

## 1.1. Cronograma

Un cronograma es un gráfico en el que se muestra cómo evolucionan una o más señales, en este caso digitales, en función del tiempo. También recibe el nombre de diagrama de tiempo.

Los cronogramas son especialmente útiles para mostrar el funcionamiento tanto de los circuitos combinacionales como de los secuenciales, y a menudo son utilizados por los fabricantes en las hojas de características para mostrar el comportamiento de sus componentes.

| A | B | Q |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |



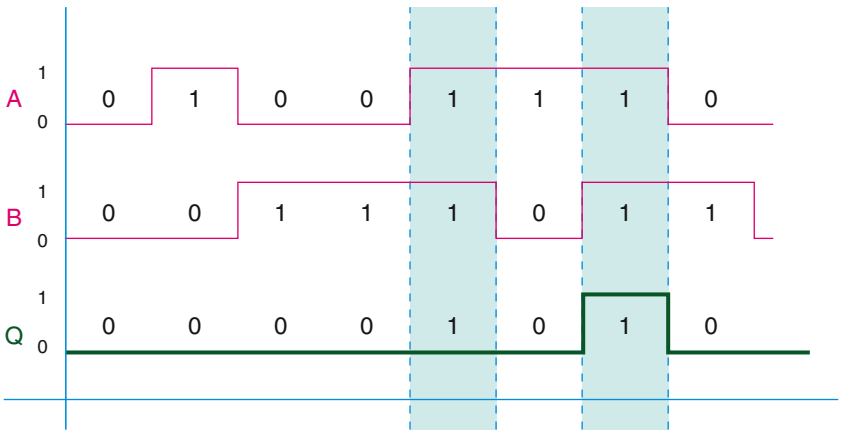




**Figura 10.3.** Ejemplo de cronograma de una función lógica AND.

En los cronogramas, las señales digitales se muestran con dos posibles valores, el 0 y el 1. Así, el flanco que pasa de 0 a 1 se denomina **flanco ascendente** o de subida, y el que pasa de 1 a 0 se denomina **flanco descendente** o de bajada.

Es importante identificar los dos tipos de flanco, ya que muchos circuitos digitales secuenciales funcionan basándose en ellos.

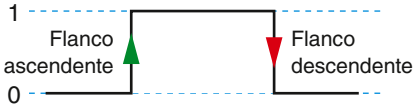



**Figura 10.4.** Flancos de una señal digital.

# 2. Circuitos combinacionales

## Recuerda

En los circuitos combinacionales con codificadores/decodificadores y multiplexores/demultiplexores, se suelen utilizar diferentes símbolos para identificar las entradas (E, I, D, etc.) y para las salidas (S, A, Q, X, etc.)

Aquí se utilizará I para las entradas y Q para las salidas.

Los circuitos combinacionales más característicos son:

- Los codificadores y decodificadores.
- Los multiplexores y demultiplexores.

Todos ellos se pueden montar mediante circuitos de puertas lógicas, pero, para facilitar el diseño y su integración en los circuitos electrónicos digitales, se comercializan también en formato de circuito integrado.

## 2.1. El codificador

Es un circuito combinacional que permite obtener en su salida un número codificado en binario, partiendo de una serie de entradas no codificadas.

Los codificadores disponen de $2^n$ entradas y un número, *n*, determinado de salidas. Así, un codificador de 2 salidas, dispone de $2^2 = 4$ entradas, uno de 3 salidas $2^3 = 8$ entradas, y así sucesivamente. A los decodificadores se les suele denominar también con un código numérico, cuya relación se encuentra entre el número de entradas y el número salidas: $4 \times 2$, $8 \times 3$, $16 \times 4$, etc.

En el siguiente ejemplo se muestra un codificador de 4 entradas a 2 bits de salida. En él, si las entradas se activan individualmente, el resultado en las salidas corresponde con su número codificado en binario.

Así, si analizamos la tabla de la verdad del codificador, se observa que las salidas Q1 y Q2 se activan en función de las siguientes combinaciones lógicas de las entradas y, por tanto, es posible representar su circuito equivalente.

| Entradas | | | | Salidas | | Número en decimal |
|---|---|---|---|---|---|---|
| I0 | I1 | I2 | I3 | Q1 | Q2 | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 |

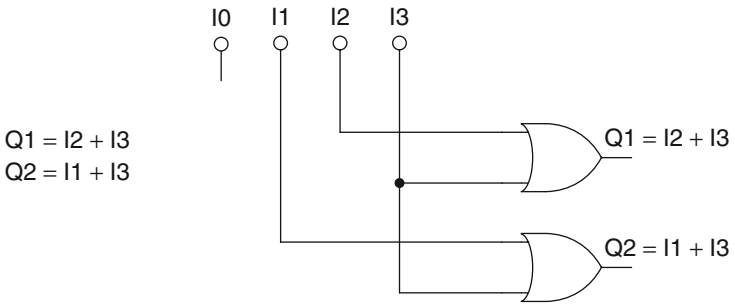



**Figura 10.5.** Codificador de 2 bits de salida y tabla de la verdad.

## Saber más

Por lo general, la entrada de habilitación es de tipo negada, ya que, de esta forma, aunque no se conecte el circuito, este puede funcionar igualmente.

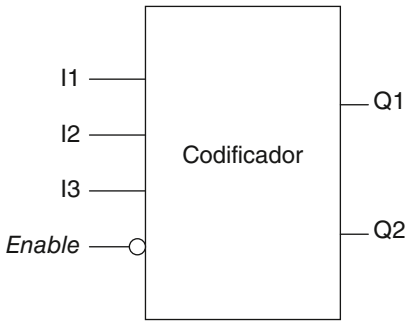



**Figura 10.6.** Entrada *enable* negada.

En los circuitos digitales es habitual disponer de una entrada denominada *enable*, mediante la cual es posible habilitar o deshabilitar la actuación sobre las salidas si se aplica en ella un determinado nivel lógico. En el caso del ejemplo del codificador $4 \times 2$, su implementación se realiza añadiendo puertas AND a cada una de las salidas de las puertas OR y conectando en uno de sus terminales la entrada de habilitación. Así, si la entrada *enable* no se encuentra a valor lógico "1", las salidas estarán desactivadas o deshabilitadas.

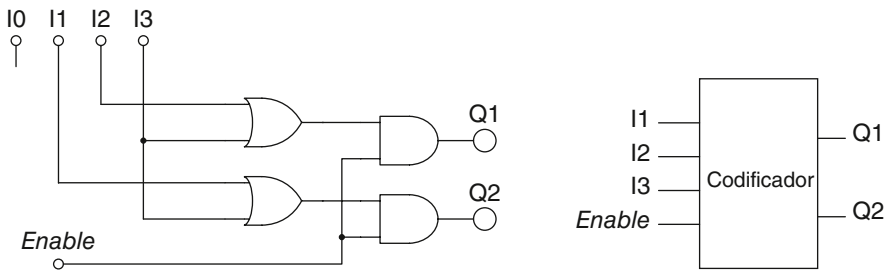



**Figura 10.7.** Codificador de 2 bits de salida con entrada de habilitación.

A continuación, se muestra un codificador de 8 bits de entrada a 3 de salida, en cuya tabla de la verdad se observa como en función de número de la entrada activada se obtienen en las salidas su correspondiente número en binario.

| I0 | I1 | I2 | I3 | I4 | I5 | I6 | I7 | Q1 | Q2 | Q3 | Número |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 5 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 6 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 7 |

**Tabla 10.1.** Tabla de la verdad del codificador de 8 bits de entrada a 3 de salida.

Si se escriben las ecuaciones lógicas para las situaciones en las que el resultado en las salidas es 1, se puede dibujar el circuito combinacional equivalente.

Como ya se ha visto en el ejemplo anterior, los codificadores se pueden construir conectando puertas lógicas entre sí, pero es más habitual utilizarlos en formato de circuito integrado, ya que facilita el diseño e implementación de circuitos.

Los codificadores pueden ser de dos tipos: con prioridad o sin prioridad.

### 2.1.1. Codificadores sin prioridad

Son codificadores que están diseñados para mantener activa un sola de sus entradas. En el caso de que exista más de una, el resultado en las salidas se suma, generando un cierto desorden y confusión, ya que el resultado puede ser el no deseado.

Por ello, el diseño del circuito previo al codificador debe hacerse de tal forma que no sea posible poner a nivel lógico alto más de una entrada a la vez.

Así, si en el circuito de codificador de $8 \times 3$ mostrado anteriormente nos encontramos con dos entradas activadas simultáneamente, por ejemplo, la I3 y la I4, el resultado en las salidas es la suma de las dos.

| I0 | I1 | I2 | I3 | I4 | I5 | I6 | I7 | Q1 | Q2 | Q3 | Número |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ... | | | | | | | | ... | | | ... |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4 |
| ... | | | | | | | | ... | | | ... |
| Resultado en las salidas | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | |

**Tabla 10.2.** Codificador de 8 bits de entrada a 3 de salida con 2 entradas activadas.

## Saber más

Ecuaciones lógicas para el codificador de 8 de entrada y 3 de salida.

$Q1 = I4 + I5 + I6 + I7$

$Q2 = I2 + I3 + I6 + I7$

$Q3 = I1 + I3 + I5 + I7$

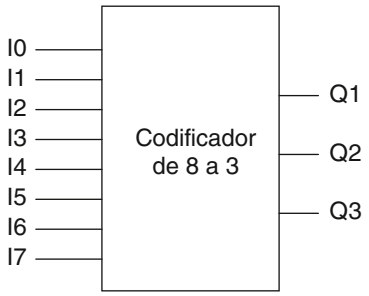



**Figura 10.8.** Codificador de 8 entradas y 3 salidas.

## Actividades

**1.** Utilizando un *software* de simulación electrónica, dibuja el circuito combinacional del codificador de $8 \times 3$ y realiza lo siguiente:

- Comprueba el funcionamiento del circuito, conectando lámparas de prueba en cada una de las salidas del circuito, y observa el número en binario formado por ellas.
- Comprueba lo que ocurre con el resultado en las salidas cuando se activa más de una entrada a la vez.
- Implementa una entrada *enable* en el circuito y comprueba si el funcionamiento es correcto. ¿Qué tendría que hacer para que esta entrada habilite el funcionamiento de las salidas cuando su valor lógico es 0? Pruébalo también.

### 2.1.2. Codificadores con prioridad

Son codificadores que resuelven el problema de los codificadores sin prioridad cuando se encuentra activada más de una entrada. En estos, si se da la situación de que dos o más entradas están a nivel lógico alto, el valor codificado en las salidas es el correspondiente a la entrada de mayor prioridad o mayor valor numérico.

En la tabla de la verdad se representan con una X los valores de las entradas que resultan irrelevantes. De esta forma, si, por ejemplo, se encuentran activadas dos o más entradas a la vez, el resultado en las salidas solamente es el de mayor prioridad.

| I0 | I1 | I2 | I3 | I4 | I5 | I6 | I7 | Q1 | Q2 | Q3 | Número | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Menor prioridad |
| x | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | |
| x | x | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | |
| x | x | x | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 | |
| x | x | x | x | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4 | |
| x | x | x | x | x | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 5 | |
| x | x | x | x | x | x | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 6 | |
| x | x | x | x | x | x | x | 1 | 1 | 1 | 1 | 7 | Mayor prioridad |

**Tabla 10.3.** Tabla de la verdad de un codificador con prioridad.

## Saber más

A la entrada de habilitación, *enable*, también se la denomina *strobe*.

### Codificador con prioridad 74xx148

El circuito integrado 74xx148 es un codificador con prioridad de 8 entradas a 3 salidas. En él, tanto las entradas como las salidas están negadas, por lo tanto, trabajan con niveles lógicos bajos, es decir de 0 lógico. Dispone de una entrada de habilitación EI, y dos salidas adicionales: EO que permite conectar en cascada el integrado con otros del mismo tipo, y GS que indica con valor alto cuando todas las salidas están a 1.

A continuación, se muestra la tabla de la verdad representada en su hoja de características (*data sheet)*. En ellas el valor 1 se muestra con H (*high*), el valor 0 con L (*low*) y cuando el valor lógico es irrelevante, se muestra con X.

## Saber más

En el mercado existen numerosos circuitos integrados codificadores. Aquí solamente se estudiará, a modo de ejemplo, el modelo 74xx148.

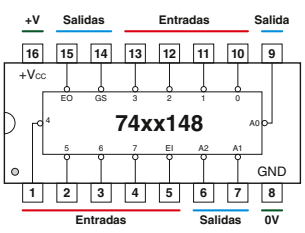



TABLA DE LA VERDAD

| ENTRADAS (INPUTS) | | | | | | | | | SALIDAS (OUTPUTS) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EI | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | A2 | A1 | A0 | GS | EO |
| H | X | X | X | X | X | X | X | X | H | H | H | H | H |
| L | H | H | H | H | H | H | H | H | H | H | H | H | L |
| L | X | X | X | X | X | X | X | L | L | L | L | L | H |
| L | X | X | X | X | X | X | L | H | L | L | H | L | H |
| L | X | X | X | X | X | L | H | H | L | H | L | L | H |
| L | X | X | X | X | L | H | H | H | L | H | H | L | H |
| L | X | X | X | L | H | H | H | H | H | L | L | L | H |
| L | X | X | L | H | H | H | H | H | H | L | H | L | H |
| L | X | L | H | H | H | H | H | H | H | H | L | L | H |
| L | L | H | H | H | H | H | H | H | H | H | H | L | H |

H = Nivel lógico alto (High), L = Nivel lógico bajo (Low), X = Irrelevante

**Figura 10.9.** Pineado y tabla de la verdad del circuito integrado 74xx148.

## Actividades

**2.** Utilizando un *software* de simulación electrónica, comprueba la tabla de la verdad del codificador con prioridad 74xx148. Para ello, conecta interruptores lógicos a las entradas, y lámparas de prueba a las salidas.

Debes tener en cuenta que tanto unas como otras están negadas, y para habilitar las salidas es necesario que la entrada EI esté a nivel lógico bajo, es decir, a 0 lógico.

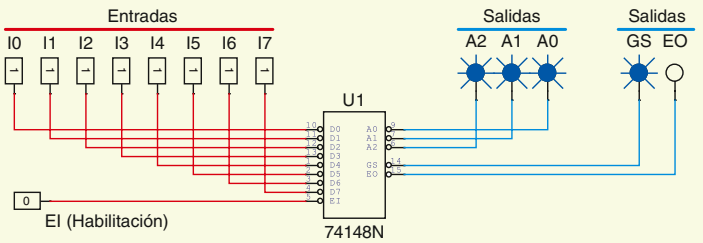



**Figura 10.10.** Montaje para simular.

## 2.2. El decodificador

Es un circuito combinacional que funciona a la inversa del codificador. En este caso, a las entradas se les aplica un número en binario, activando la salida correspondiente al número codificado en ellas. Un decodificador tiene un número *n* de bits de entradas, con los que se codifica un número en binario, y número $2^n$ de salidas de datos, las cuales se activan en función del número codificado en las entradas.

Así, si se desea obtener cuatro líneas de datos, es necesario codificar un número en binario de 2 bits.

En la siguiente tabla de la verdad, se muestra cómo, al codificar en binario las entradas, se activa el número de salida correspondiente, no siendo posible activar más de una salida a la vez.

| | Entradas | | Salida | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Número | I1 | I0 | Q3 | Q2 | Q1 | Q0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |

**Tabla 10.4.** Tabla de la verdad de un decodificador binario.

Así, el resultado lógico de cada salida corresponde con el término mínimo de la fila en la que se encuentra. Por lo tanto, las ecuaciones y el circuito lógico para cada una de ellas son los mostrados a continuación:

$Q0 = \overline{I1} \cdot \overline{I0}$
$Q1 = \overline{I1} \cdot I0$
$Q2 = I1 \cdot \overline{I0}$
$Q3 = I1 \cdot I0$

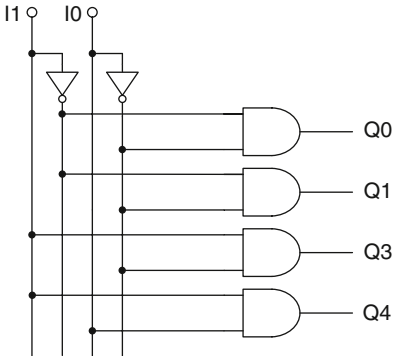



**Figura 10.11.** Ecuaciones lógicas y circuito de un codificador de 2 a 4 con puertas lógicas.

La entrada de habilitación (*enable*) se consigue conectando una tercera entrada a cada una de las puertas AND. Así, si esta no se encuentra a 1 lógico, no es posible activar ninguna de las salidas.

### Vocabulary

- Flanco positivo: *positive edge*.
- Flanco negativo: *negative edge*.
- Flanco ascendente: *rising edge*.
- Flanco descendente: *falling edge*.
- Señal de reloj: *clock signal*.
- Puerta lógica: *logic gate*.
- Biestable: *latch*, *flip-flop*.
- Lógica secuencial: *sequential logic*.
- Conmutación: *switching*.
- Rebote: *rebound*.
- Retardo: *delay*.
- Exceso: *overage*.
- Codificador: *encoder*.
- Decodificador: *decoder*.
- Nivel alto: *high level*.
- Nivel bajo: *low level*.
- Irrelevante: *irrelevant*.
- Conmutador: *toggle*.
- Contador: *counter*.
- Arriba: *up*.
- Abajo: *down*.
- Síncrono: *synchronous*.
- Asíncrono: *asynchronous*.

### Actividades

**3.** Utilizando un *software* de simulación electrónica, comprueba el funcionamiento del decodificador de 2 entradas a 4 salidas de la figura.

Diseña el circuito de tal forma que disponga de una entrada de habilitación (*enable*) y comprueba su funcionamiento.

¿Qué es necesario hacer para que la entrada de habilitación funcione con lógica negativa? Simúlalo y comprueba su funcionamiento.

¿Es posible conseguir que más de una salida esté activa a la vez? ¿Por qué?

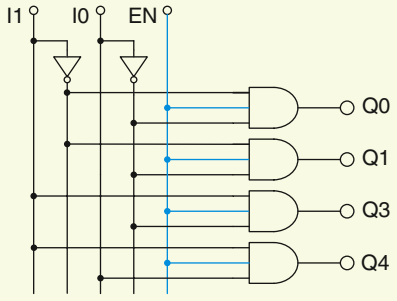



**Figura 10.12.** Circuito lógico para simular.

## Recuerda

El orden de los segmentos LED de un *display* es el siguiente:

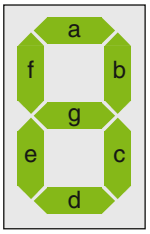



**Figura 10.13.** Segmentos de un *display*.

## Saber más

Un circuito de similares características al 74xx48, en tecnología CMOS, es el CD4511. Se trata de un codificador BCD a un *display* de 7 segmentos LED en cátodo común.

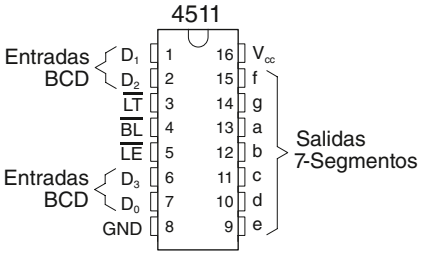



**Figura 10.14.** Pineado del circuito integrado CD4511.

### 2.2.1. Decodificador BCD para *display* de 7 segmentos

Es un decodificador especialmente diseñado para convertir un número en código BCD y mostrarlo directamente en un *display* de 7 segmentos. A diferencia del codificador mostrado en el ejemplo anterior, en este caso, cada vez que se ponen a 1 lógico las entradas para formar un número en BCD, se activan varias salidas a un mismo tiempo, excitando los segmentos LED necesarios del *display* y así formar el número correspondiente.

Los CI 74xx47 y 74xx48 permiten realizar este tipo de codificación. Ambos funcionan de forma similar, pero se diferencian en que el primero se utiliza para *displays* que tienen ánodo común y el segundo para los que tienen el cátodo común. Ambos disponen de 4 entradas para la codificación BCD y 7 salidas para conectar cada uno de los segmentos LED del *display*. Además, tienen 3 entradas auxiliares, que internamente están negadas, de las cuales, la denominada LT es de gran utilidad, ya que permite comprobar si los segmentos LED del *display* son correctos.

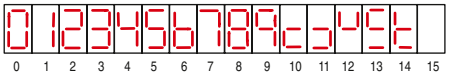
A continuación, se muestra la tabla de la verdad del circuito integrado 74xx47 y el resultado para las diferentes combinaciones BCD.

Tabla de la verdad

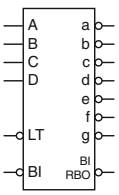
| Número en decima | ENTRADAS D | C | B | A | SALIDAS a | b | c | d | e | f | g |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | L | L | L | L | L | L | L | L | L | L | H |
| 1 | L | L | L | H | H | L | L | H | H | H | H |
| 2 | L | L | H | L | L | L | H | L | L | H | L |
| 3 | L | L | H | H | L | L | L | L | H | H | L |
| 4 | L | H | L | L | H | L | L | H | H | L | L |
| 5 | L | H | L | H | L | H | L | L | H | L | L |
| 6 | L | H | H | L | H | H | L | L | L | L | L |
| 7 | L | H | H | H | L | L | L | H | H | H | H |
| 8 | H | L | L | L | L | L | L | L | L | L | L |
| 9 | H | L | L | H | L | L | L | H | H | L | L |
| 10 | H | L | H | L | H | H | H | L | L | H | L |
| 11 | H | L | H | H | H | H | L | L | H | H | L |
| 12 | H | H | L | L | H | L | H | H | H | L | L |
| 13 | H | H | L | H | L | H | H | L | H | L | L |
| 14 | H | H | H | L | H | H | H | L | L | L | L |
| 15 | H | H | H | H | H | H | H | H | H | H | H |

H = HIGH (Nivel alto) L = LOW (Nivel bajo)

Resultados en el *display* para cada codificación BCD




Símbolo




IC1
74LS47

Pineado

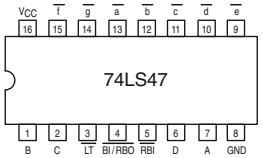



**Figura 10.15.** Tabla de la verdad, símbolo e identificación de terminales del integrado 74LS74.

## Actividades

**4.** Utilizando un *software* de simulación electrónica, monta el circuito de la figura con el circuito integrado 74LS47, un decodificador BCD a 7 segmentos LED. Conecta a sus entradas interruptores lógicos y a sus salidas un *display* de 7 segmentos LED en ánodo común.

Comprueba la codificación en BCD de las entradas y observa si el resultado en el *display* se corresponde con la tabla de la verdad.

¿Qué ocurre cuando la entrada LT cambia de nivel lógico?

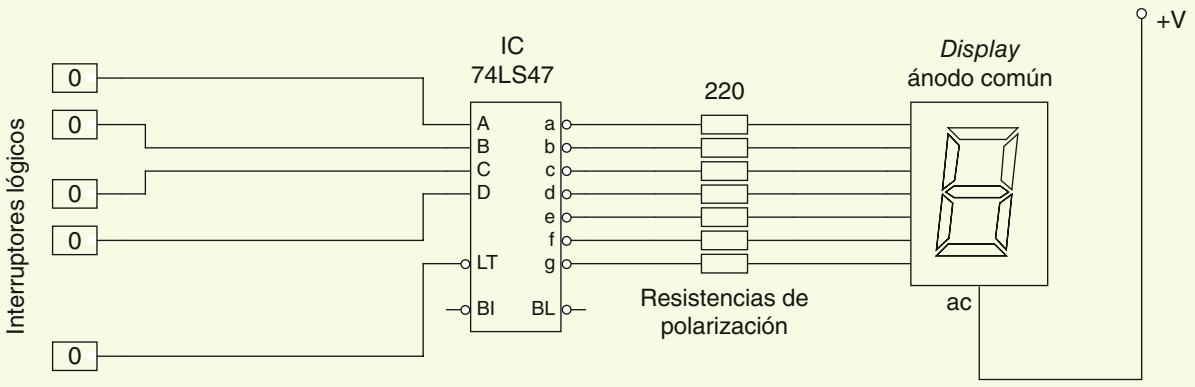



**Figura 10.16.** Circuito para simular con el codificador 74LS47.

## 2.3. Multiplexor

Es un circuito combinacional con un número determinado de entradas de datos y una sola salida.

Un multiplexor es un conmutador en el que el estado de uno de los canales de los datos de entrada se transfiere a su salida, en función del valor seleccionado en las denominadas entradas de control o selección.

Así, si *n* es el número de canales de control, $2^n$ es el número de entradas que dispone el multiplexor.

Por tanto, la representación de un multiplexor de 4 entradas de control dispone de 8 entradas de datos. En este caso, el número en binario codificado en las entradas de selección conmuta el valor del número de entrada a la salida del multiplexor.

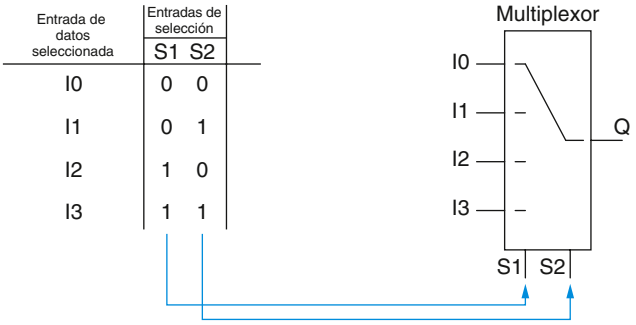



**Figura 10.19.** Multiplexor de 4 entradas de datos y 2 de selección.

Los multiplexores se pueden configurar mediante circuitos basados en puertas lógicas. No obstante, también se comercializan en formato de circuito integrado facilitando así su conexión e integración en los circuitos digitales. Estos suelen disponer, además de las entradas de datos y de selección, de una entrada de habilitación como la ya estudiada en otros circuitos integrados combinacionales.

### 2.3.1. Circuito integrado 74151

Un circuito integrado multiplexor ampliamente utilizado es el modelo 74151. Se trata de un multiplexor con 3 entradas de selección y, por tanto, 8 entradas de datos. Dispone de una entrada de habilitación (Pin 7), además de una salida negada o invertida.

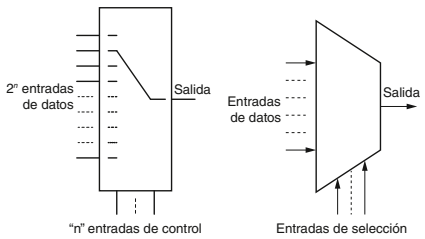



**Figura 10.17.** Representación genérica de un multiplexor.

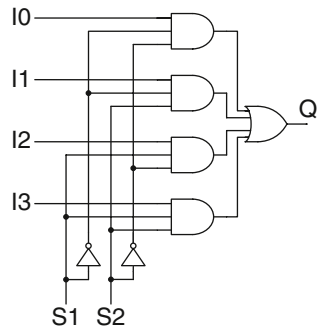



**Figura 10.18.** Circuito con puertas lógicas de un multiplexor de 4 entradas de datos y 2 entradas de control.

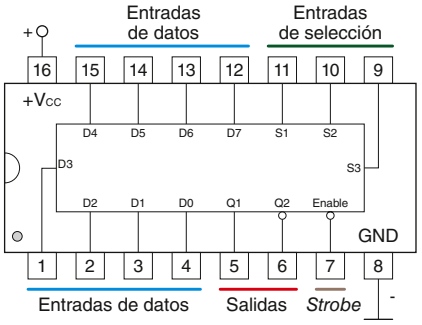
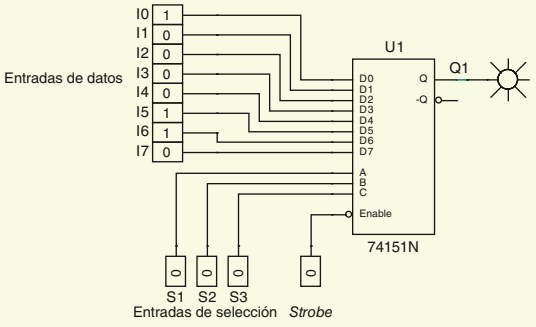



**Figura 10.20.** Pineado del circuito integrado 74151.

## Actividades

**5.** Utilizando un *software* de simulación electrónica, monta el circuito de la figura con el circuito integrado multiplexor 74151. Conecta a cada una de las entradas de datos sus correspondientes interruptores lógicos y da en ellos varios valores lógicos aleatorios. Conmuta las entradas de selección y comprueba que el dato que aparece en la salida corresponde con el valor lógico de la entrada correspondiente.




| | A | B | C |
|---|---|---|---|
| D0 | 0 | 0 | 0 |
| D1 | 0 | 0 | 1 |
| D2 | 0 | 1 | 0 |
| D3 | 0 | 1 | 1 |
| D4 | 1 | 0 | 0 |
| D5 | 1 | 0 | 1 |
| D6 | 1 | 1 | 0 |
| D7 | 1 | 1 | 1 |

**Figura 10.21.** Circuito para simular con CI 74151.

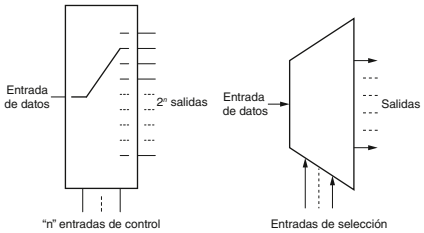



**Figura 10.22.** Representación genérica de un demultiplexor.

## 2.4. Demultiplexor

Es un circuito combinacional que funciona de forma inversa al multiplexor. Dispone de una única entrada de datos, varias entradas selectoras o de control y un número determinado de salidas. La relación del número de salidas respecto a las entradas de control es de $2^n$, siendo *n* el número de entradas selectoras.

Así, el funcionamiento del demultiplexor es similar al del multiplexor, pero con sentido inverso en el intercambio de la información. Es decir, el nivel lógico que se presenta en su entrada es trasladado al número de línea de salida, que se ha codificado en binario mediante las entradas selectoras.

| | Entradas de selección | | Entrada de datos seleccionada |
|---|---|---|---|
| | S1 | S2 | |
| 0 | 0 | 0 | Q0 |
| 1 | 0 | 1 | Q1 |
| 2 | 1 | 0 | Q2 |
| 3 | 1 | 1 | Q3 |

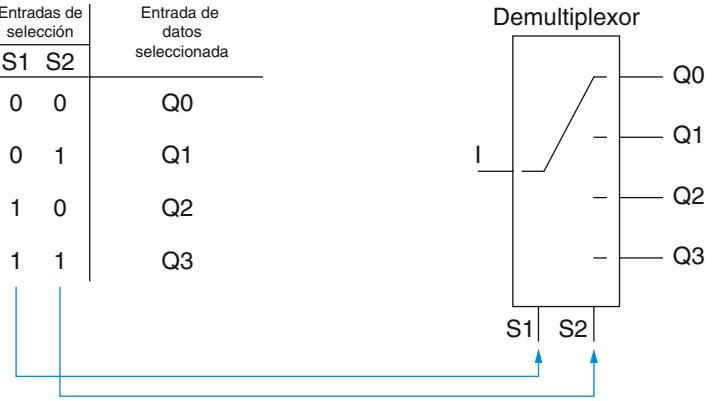



**Figura 10.23.** Demultiplexor de 4 salidas de datos y 2 de control.

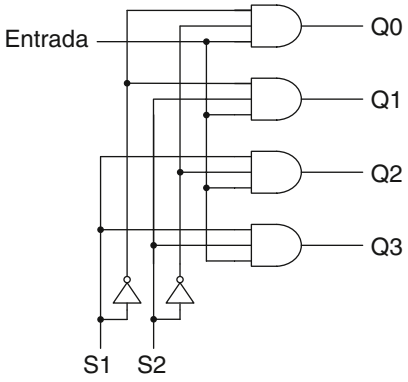



**Figura 10.24.** Circuito con puertas lógicas de un demultiplexor de 4 salidas de datos y 2 entradas de control.

Con un multiplexor es posible convertir en paralelo una información que se recibe en serie.

Muchos circuitos integrados decodificadores pueden ser utilizados como demultiplexores.

# 3. Circuitos secuenciales

En la lógica secuencial, a diferencia de la lógica combinacional, el estado de las salidas no depende exclusivamente de las entradas, sino que también depende de los estados anteriores de sus propias salidas.

Así, una primera aproximación a la lógica secuencial es el que se describe a continuación.

Supóngase la operación OR de dos señales de entrada (1), en el que el resultado lógico de la salida es 1 cuando cualquiera de ellas lo es también. Si una de las señales de entrada se sustituye por la señal de la propia salida de la función (2), cuando la entrada tiene valor 1, la salida se pone a nivel alto y, por tanto, se aplica un 1 lógico en el otro terminal de la puerta OR. De esta forma, la salida se mantiene activada de forma permanente, a pesar de que la entrada que provocó esta acción deje de estar a nivel alto en la puerta lógica. Con esto, se consigue hacer una función de realimentación y así memorizar el estado de la propia salida, aplicando su nivel lógico como si fuese una entrada.

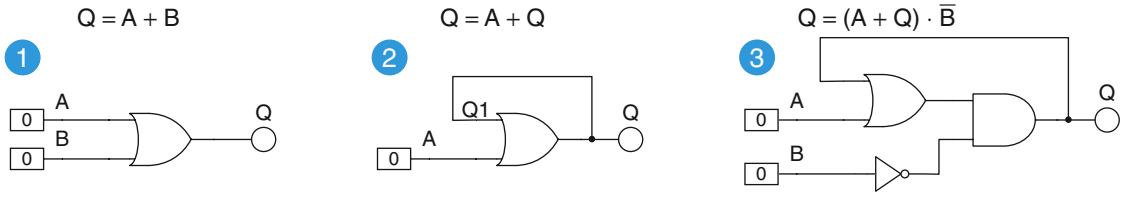



**Figura 10.25.** Circuito con memoria.

Dicha operación no tiene demasiado sentido si no es posible desactivar el nivel lógico de la salida de alguna manera. Para ello, simplemente se realiza una operación AND de una entrada negada con la operación OR anterior (3), de forma que dicha entrada se utiliza para poner a valor de 0 lógico la salida y desactivar así la realimentación.

De esta forma, si una entrada activa la salida, se mantiene en ese estado, aunque cese la acción sobre ella; y la otra la desactiva, manteniéndola en ese estado, aunque su valor lógico retorne a 0.

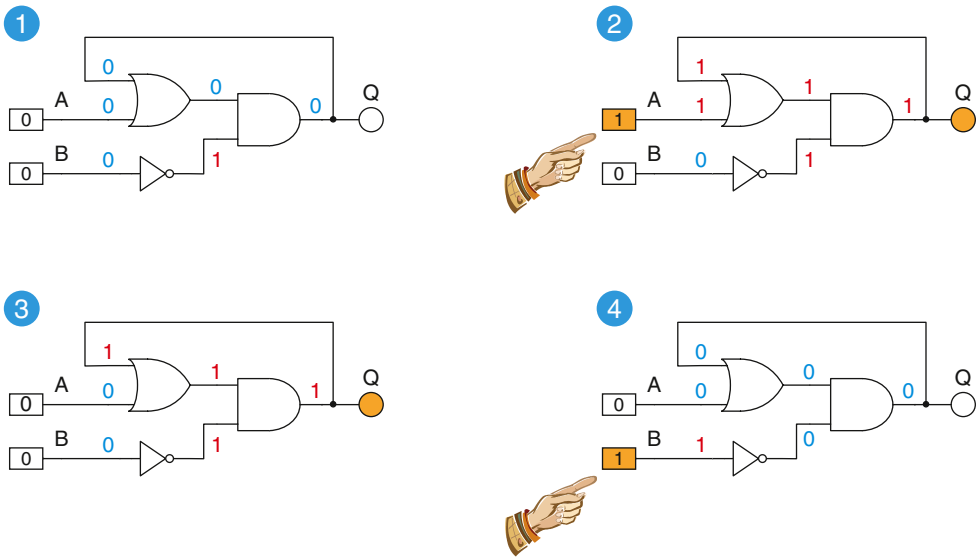



**Figura 10.26.** Secuencia de funcionamiento de un circuito con realimentación.

Por tanto, en el caso de la figura, se puede decir que la entada A es la activación o SET, y la entrada B es la desactivación o RESET.

Esta forma de realizar circuitos con memoria no es muy utilizada en electrónica digital, pero está justificado su estudio para comprender el concepto de realimentación. Una forma más eficiente de implementar circuitos secuenciales es utilizar los denominados biestables, bien configurándolos a base de puertas lógicas o bien en formato de circuito integrado específicamente diseñado para tal efecto.

## 3.1. El biestable

Un biestable es un circuito electrónico que tiene dos posibles estados estables. Se puede decir que un biestable es un circuito con memoria, que permite almacenar un dato en binario y utilizarlo cuando sea necesario en el circuito en el que se encuentra implementado.

Los biestables también se conocen con sus denominaciones del inglés *flip-flop* o *latch*.

En función de si la conmutación de sus salidas atiende o no a una señal de reloj (*clock*), los biestables se pueden clasificar en:

- **Biestables asíncronos:** son aquellos en los que la señal de salida cambia cuando se producen variaciones lógicas en sus entradas.
- **Biestables síncronos:** son aquellos en los que la activación de la salida cambia no solo cuando se producen cambios lógicos en sus entradas, sino que también depende del estado de una señal de sincronismo, denominada de reloj o *clock*.

### Saber más

La combinación de biestables permite formar otro tipo de circuitos: son los contadores o registros de desplazamiento. Los contadores se estudiarán en esta unidad.

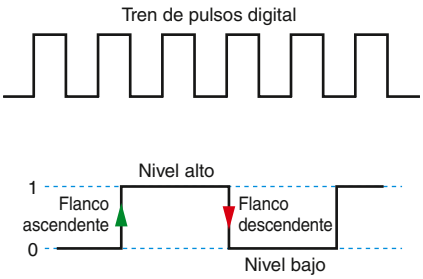



**Figura 10.27.** Tren de pulsos de una señal de reloj digital.

### 3.1.1. Forma de disparo de los biestables síncronos

La señal de reloj no es más que un tren de pulsos de onda cuadrada, que trabaja con una frecuencia determinada. De esta señal se pueden utilizar sus valores o estados lógicos para sincronizar los circuitos secuenciales controlados con biestables. Así, el disparo con esta señal puede hacerse por nivel o por flanco.

- **Nivel:** es el valor lógico de la señal binaria que se mantiene en el tiempo y dura todo el semiciclo de la onda cuadrada. El nivel bajo es el 0 lógico y el nivel alto es el 1 lógico.
- **Flanco:** es una señal que detecta el instante en el que el valor lógico cambia de nivel. Así, se denomina flanco positivo, o ascendente, al que detecta el paso de nivel lógico bajo a nivel alto. Y flanco negativo, o descendente, el que detecta el paso de nivel alto a nivel bajo.

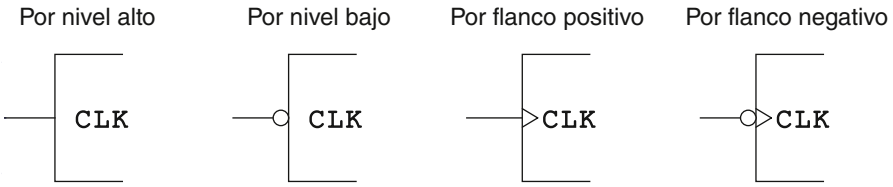



**Figura 10.28.** Formas de representar las señales de reloj en los bloques de los biestables.

## 3.2. Biestable RS asíncrono

Todos los tipos de biestables se pueden analizar en su forma asíncrona y síncrona. No obstante, aquí solamente se estudiará el biestable RS con la forma de disparo asíncrona, ya que es el único de este tipo que tiene un interés práctico. Los restantes se estudiarán en función de su disparo mediante señales de reloj, o de forma síncrona.

El biestable RS dispone de dos entradas, denominadas *set* y *reset*, una salida no negada denominada Q, y, en ocasiones, también una segunda salida negada respecto a la anterior llamada $\overline{Q}$. Así, cuando la entrada *set* es activada mediante un 1 lógico, la salida cambia también a 1.

Por el contrario, cuando la acción se produce sobre la entrada *reset*, la salida Q cambia al estado lógico 0. En este tipo de biestable, la detección de valor de las entradas no depende de otros tipos de señales como puede ser una de reloj.

### Saber más

En numerosas ocasiones, en los biestables, además de la salida Q, se representa una salida Q negada, cuyo estado es inverso a la anterior.

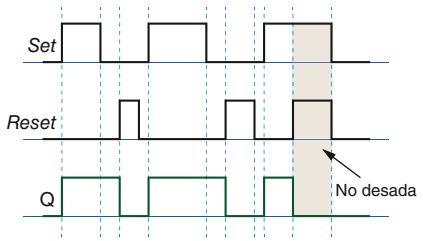



**Figura 10.29.** Cronograma biestable R-S asíncrono.

### 3.2.1. Biestable RS asíncrono con puertas NOR

Un biestable R-S puede configurarse con dos puertas NOR conectadas, como se muestra en la figura.

| R | S | Q |
|---|---|---|
| 0 | 0 | Valor anterior |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | No deseado |

Tabla de la verdad

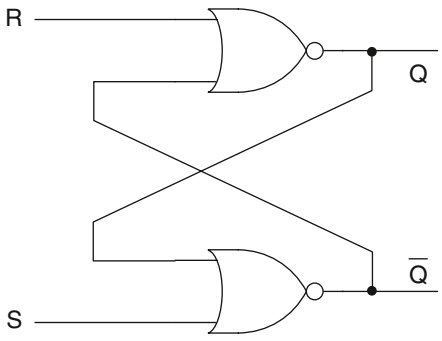



**Figura 10.30.** Biestable RS con puertas lógicas NOR y tabla de la verdad.

En este circuito, sus entradas *set* y *reset* se activan por nivel lógico alto. Así, si el *set* está a 1 lógico, la salida se activa. Por el contrario, si es el *reset* el que lo está, la salida se desactiva. En el caso de que ambas estén a nivel bajo, la salida se mantiene en el estado anterior. Por otro lado, si se da el caso de que ambas entradas (R-S) están nivel lógico alto, nos encontramos en una situación no deseada, la cual debe evitarse, ya que se produciría un resultado incierto sobre la salida.

### 3.2.2. Biestable RS asíncrono con puertas NAND

Otra forma de configurar un biestable es mediante el circuito de la figura basado en puertas lógicas NAND. En este caso, las entradas *set* y *reset* funcionan por nivel lógico bajo, por lo que se puede decir que tiene un funcionamiento inverso a su homólogo con puertas NOR.

En este caso, la situación no permitida o no deseada se produce cuando las dos entradas se encuentran a nivel lógico bajo, es decir, a 0 lógico.

| R | S | Q |
|---|---|---|
| 0 | 0 | No deseado |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | Valor anterior |

Tabla de la verdad

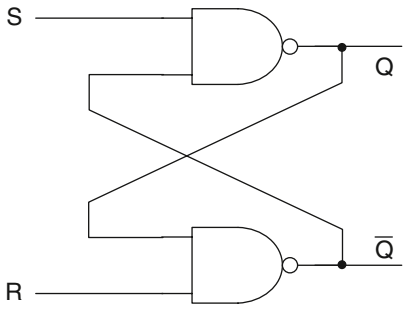



**Figura 10.31.** Biestable RS con puertas lógicas NAND y tabla de la verdad.

Un biestable RS se representa habitualmente de forma simplificada mediante un rectángulo vertical, en el que en un lateral se representan las entradas y en el otro las salidas.

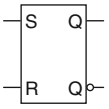
| Denominación | Símbolo IEC | Símbolo ANSI | Identificador |
|---|---|---|---|
| Biestable RS asíncrono |  | | U |



**Tabla 10.5.** Biestable RS asíncrono.

### 3.2.3. Biestables RS asíncronos en formato de circuito integrado

Existen varios modelos de circuitos integrados, tanto en tecnología TTL como en CMOS, que disponen de funciones biestables RS asíncronos. A continuación, se muestra el pineado de los modelos 4033, basado en puertas NOR, y 4044, basado en puertas NAD.

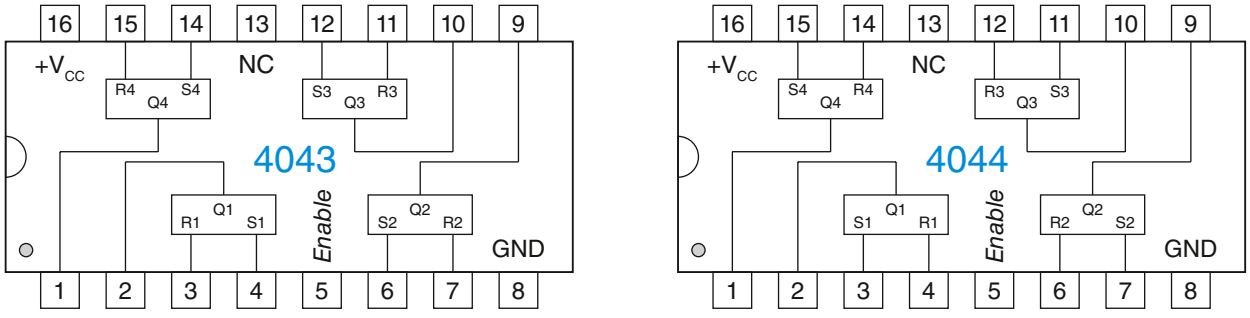



**Figura 10.33.** Circuitos integrados 4043 y 4044 de biestables S-R basados en puertas NOR y NAND, respectivamente.

## Saber más

El biestable RS con puertas NAND puede trabajar con entradas de nivel lógico alto si se conecta en ellas una puerta inversora.

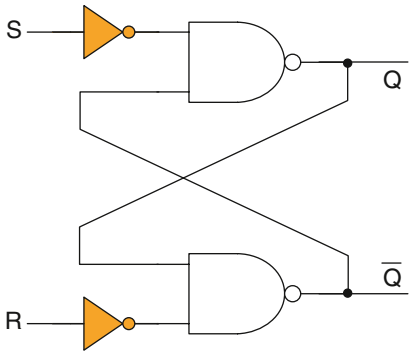



**Figura 10.32.** Biestable S-R con entradas a nivel lógico alto.

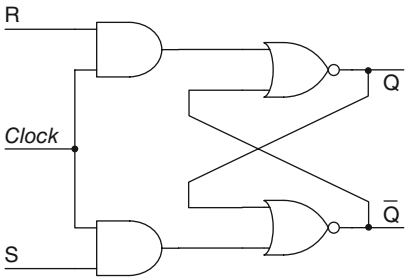



**Figura 10.34.** Biestable R-S síncrono de puertas NOR.

## 3.2.4. Biestables RS síncronos

Los biestables síncronos, además de atender a las señales de las entradas RS, dependen de una señal de reloj o de tren de pulsos, la cual puede realizar el disparo por nivel o por flanco.

La tabla de la verdad de un biestable RS síncrono es idéntica a la de un biestable síncrono, con la diferencia de que el resultado en la salida solamente se ejecuta cuando es evaluado el nivel o flaco correspondiente de la señal de reloj.

El cronograma y tabla de la de la siguiente figura muestran el funcionamiento de un biestable RS síncrono, cuyo disparo se hace por flanco negativo.

Tabla de la verdad

| CLK | R | S | Q |
|---|---|---|---|
| ⊓ | 0 | 0 | Valor anterior |
| ⊓ | 0 | 1 | 1 |
| ⊓ | 1 | 0 | 0 |
| ⊓ | 1 | 1 | No deseado |

Cronograma

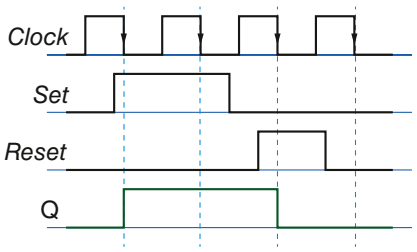



**Figura 10.35.** Cronograma biestable RS.

Los símbolos para representar los biestables RS síncronos son los siguientes:

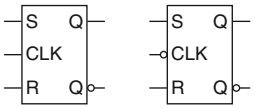
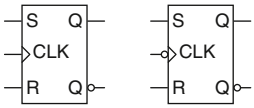
| Denominación | Símbolo (IEC-ANSI) | Identificador |
|---|---|---|
| Disparo por nivel (positivo y negativo) |  | U |
| Disparo por flanco (ascendente y descendente) |  | U |



**Tabla 10.6.** Biestables RS síncronos.

## 3.2.5. Biestable JK

Es posiblemente el biestable más utilizado, ya que corrige el problema de los RS cuando las dos entradas se encuentran en la situación no deseada. En este caso, la solución se consigue invirtiendo el valor de la salida respecto al estado anterior cada vez que se realiza el disparo con la señal de reloj.

Tabla de la verdad

| CLK | J | K | Q |
|---|---|---|---|
| ⊓ | 0 | 0 | Valor anterior |
| ⊓ | 0 | 1 | 0 |
| ⊓ | 1 | 0 | 1 |
| ⊓ | 1 | 1 | Cambia el estado contrario |

Cronograma

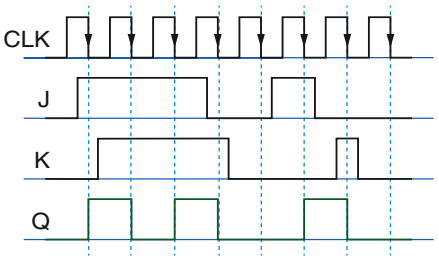



**Figura 10.37.** Cronograma biestable J-K.

Disponen de varias entradas:

- J y K, para la activación y desactivación.
- CLK, para el tren de pulsos, que puede ser por nivel o por flanco.
- PR y CLR, entradas auxiliares, para el control asíncrono del biestable.

### Saber más

En ocasiones, los biestables síncronos disponen de dos entradas auxiliares que permiten actuar sobre el estado del biestable de forma síncrona, sin atender a señales de reloj. Estas suelen recibir los nombres de *SET-RESET* o PR-CLR, y suelen estar negadas.

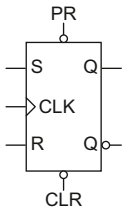



**Figura 10.36.** Biestable síncrono con entradas auxiliares asíncronas.

### Saber más

En un biestable JK, la entrada J es la equivalente a la entrada S en los biestables RS, y la entrada K el equivalente a la R.

El símbolo del biestable JK es el siguiente:

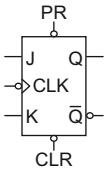
| Denominación | Símbolo (IEC-ANSI) | Identificador |
|---|---|---|
| Biestable JK (disparo por flanco negativo) |  | U |



**Tabla 10.7.** Biestable JK.

A continuación, se muestra el pineado de dos circuitos integrados, uno de la serie 40xx y otro de la serie 74xx, con la funcionalidad de biestables JK. Ambos disponen de un par de JK síncronos, con entradas auxiliares para control asíncrono.

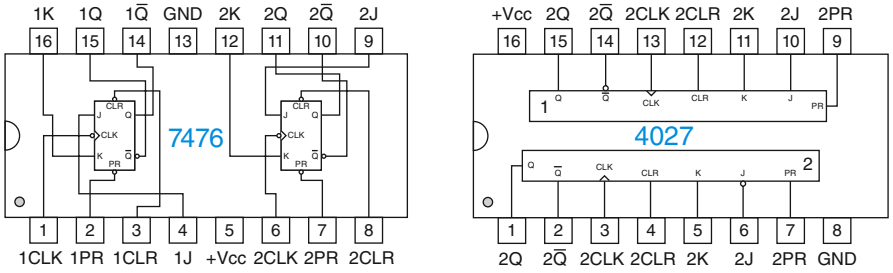




**Figura 10.38.** Pineado de dos circuitos integrados con biestables J-K.

## 3.2.6. Biestable D

El biestable o *flip-flop* tipo D (dato) se configura a partir de un biestable RS síncrono en el que las dos entradas se conectan a un mismo punto (D), invirtiendo una de ellas respecto a la otra.

El biestable solamente dispone de una entrada para el dato y otra para la señal de reloj, la cual puede funcionar por nivel o por flanco.

A continuación, se muestran la tabla de la verdad y el cronograma de un biestable D que funciona por flanco negativo.

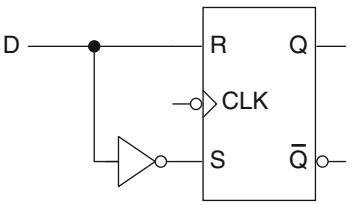




**Figura 10.39.** Circuito equivalente de un biestable D.

Tabla de la verdad

| CLK | D | Q (valor siguiente) |
|---|---|---|
| ↓ | 0 | 0 |
| ↓ | 1 | 1 |

Cronograma

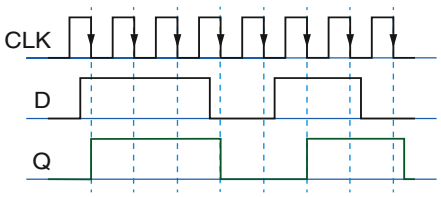




**Figura 10.40.** Cronograma biestable D disparo por flanco negativo.

De igual forma que otros biestables síncronos, es habitual que disponga de dos entradas para su control asíncrono, denominadas PR y CLR.

El símbolo del biestable D es el siguiente:

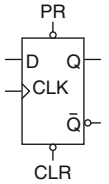
| Denominación | Símbolo (IEC-ANSI) | Identificador |
|---|---|---|
| Biestable D (disparo por flanco positivo) |  | U |



**Tabla 10.8.** Biestable D.

## Actividades

**6.** Localiza en internet la hoja de características del integrado 7474 y contesta a las siguientes preguntas:

a) ¿Cuántos biestables tiene?

b) ¿Cuál es su pineado?

c) ¿Cómo es su disparo, por nivel o por flanco? ¿De qué tipo?

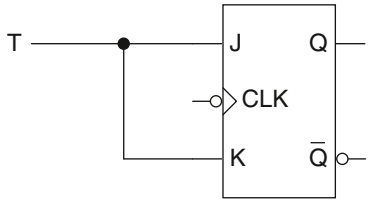



**Figura 10.41.** Circuito de un biestable T tomando como base un JK.

### 3.2.7. Biestable tipo T

El biestable tipo T se configura a partir de un biestable JK en el que se unen sus dos entradas en un único terminal denominado T (*toggle*).

En este caso, si la entrada T se mantiene a 0 lógico, no se produce cambio de estado en la salida. Sin embargo, cada vez que T cambia a nivel lógico alto, la salida invierte su estado una vez evaluado el flanco de la señal de reloj.

Tabla de la verdad

| CLK | Q (previo) | Q (valor siguiente) |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

Cronograma

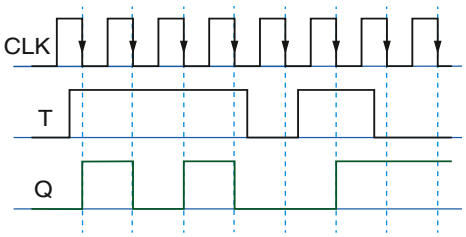



**Figura 10.42.** Cronograma biestable T con disparo por flanco negativo.

El símbolo del biestable T es el siguiente:

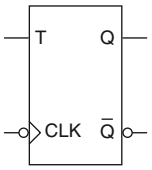
| Denominación | Símbolo (IEC-ANSI) | Identificador |
|---|---|---|
| Biestable T (disparo por flanco negativo) |  | U |



**Tabla 10.9.** Biestable T.

## 3.3. Contadores

Los contadores son circuitos digitales secuenciales que se forman a partir de biestables. Con ellos es posible contabilizar pulsos producidos en su entrada, y sincronizados con la señal de reloj.

Un contador es un circuito con memoria que permite almacenar datos codificados en binario, para posteriormente ser utilizados en otras partes del circuito y actuar en consecuencia.

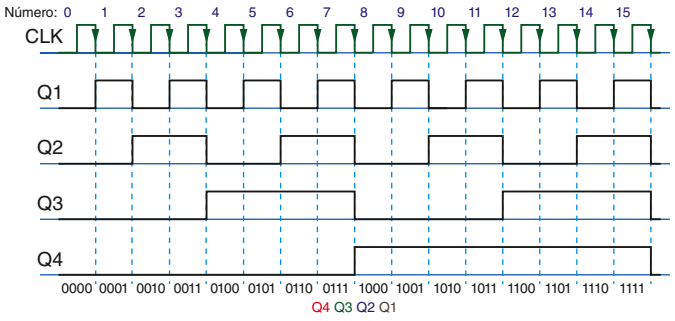



**Figura 10.43.** Cronograma de un contador binario.

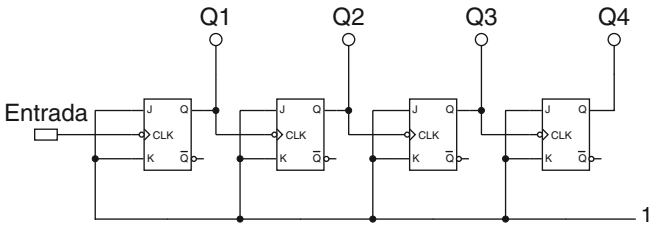



**Figura 10.44.** Contador binario basado en biestables J-K.

Los contadores pueden ser ascendentes o descendientes, en función de si el impulso en su entrada incrementa o decrementa el número codificado en su salida.

También pueden ser síncronos o asíncronos, si la conmutación se hace en función de una señal de reloj o no.

El número máximo que se puede contar depende de la cantidad de salidas utilizadas para codificar el número en binario. Así, con dos salidas ($2^2$) se puede contar de 0 a 3, con tres salidas ($2^3$) de 0 a 7, y así sucesivamente.

### 3.3.1. Contador asíncrono binario

En este tipo de contador, los pulsos se introducen manualmente mediante una fuente externa, como puede ser algún tipo de sensor o elemento de conmutación. Así, cada vez que se detecta el flanco de dicha señal, se produce el cómputo en el circuito.

En este tipo de contadores, los biestables se conectan en cascada, uniendo la salida Q de un biestable con la entrada CLK del siguiente.

En la figura se muestra un contador binario de 3 bits de tipo ascendente, configurado en base a biestables tipo T.

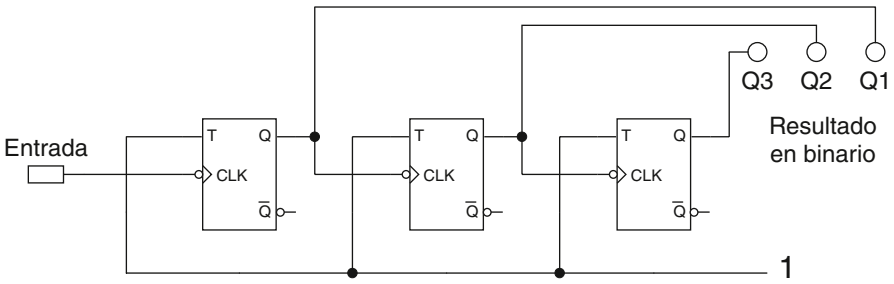



**Figura 10.45.** Contador binario asíncrono ascendente (UP).

Con este contador, cada vez que se produce un flanco negativo en la entrada, el contador se incrementa en uno. El resultado se obtiene en binario y, como Q1 es el bit menos significativo, es necesario ordenar las salidas para hacer la lectura correcta.

También es posible configurar el contador para que sea de tipo descendente, de forma que cada vez que es detectado el flanco de entrada, el contador disminuya su valor.

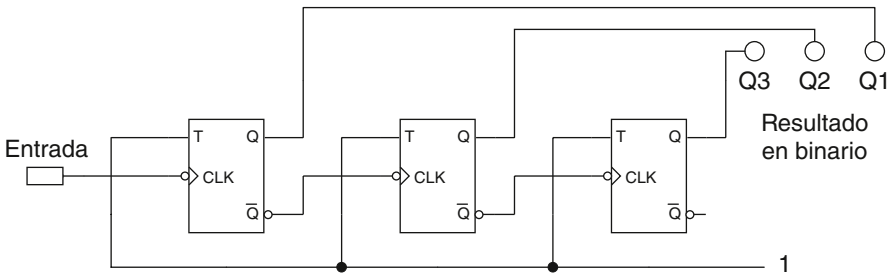



**Figura 10.46.** Contador binario asíncrono descendente (DOWN).

En este caso, las salidas no negadas de cada biestable son cada uno de los bits correspondientes del número a codificar, y la salida Q inversa es la que se conecta en cascada con los demás biestables.

## Seguridad

El uso de sensores externos de tipo electromecánico para activar los contadores, como pueden ser pulsadores o interruptores, requiere utilizar circuitos antirrebotes, como los estudiados en la unidad anterior, ya que de otra manera la conmutación mecánica puede producir varios pulsos en una sola acción.

## Actividades

**7.** Utilizando un *software* de simulación electrónica, monta el circuito del contador binario asíncrono ascendente de 3 bits, basado en biestables T. Conecta un pulsador lógico a la entrada y comprueba su funcionamiento.

**8.** Basándote en el circuito de la actividad anterior, ¿qué tendrías que hacer para que el contador tenga 4 bits? ¿Qué rango de números se podría contar? Dibuja el circuito en el simulador y comprueba su funcionamiento.

## Recuerda

Los circuitos secuenciales con contador son muy sensibles a los rebotes de los pulsadores e interruptores electromecánicos. Si no se dispone de ningún circuito antirrebotes, es muy posible que con una sola pulsación el contador incremente o disminuya el cómputo en varios pulsos. Sin embargo, los mismos circuitos comprobados con *software* de simulación electrónica no presentan este problema.

### 3.3.2. Contador síncrono binario

El contador asíncrono visto anteriormente puede realizar el cómputo con una señal de reloj en lugar de con una entrada manual tipo pulsador. Sin embargo, como el paso de un bit a otro se hace mediante biestables conectados en cascada, se produce un cierto retraso en su conmutación, lo cual puede ser un problema para determinadas aplicaciones.

Para evitar esto, se utilizan los contadores síncronos o también denominados «en paralelo», en los cuales las entradas CLK de todos los biestables se activan a la vez, ya que están conectadas al mismo punto. Además, mediante la conexión de puertas AND en los bits de salida, se consigue que el resultado esté sincronizado. En este tipo de contadores, solamente la entrada T del primer biestable es la que se encuentra a 1 lógico de forma permanente.

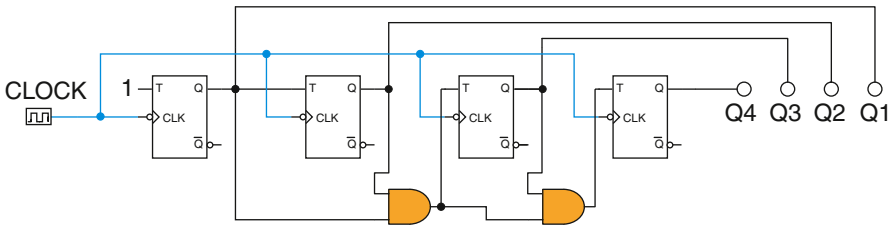



**Figura 10.47.** Contador síncrono de 4 bits ascendente.

### 3.3.3. Contadores en formato de circuito integrado

De igual forma que otros componentes digitales, los contadores se pueden conseguir en formato de circuito integrado, facilitando así su configuración e implementación.

Estos se encuentran fabricados tanto en tecnología TTL como en CMOS, y pueden ser de tipo asíncrono o síncrono, con funcionalidad ascendente y/o descendente. Este tipo de **CI,** además de la entrada de reloj (CLK), suele disponer de entradas de habilitación (*enable*) y de puesta a cero (*reset*).

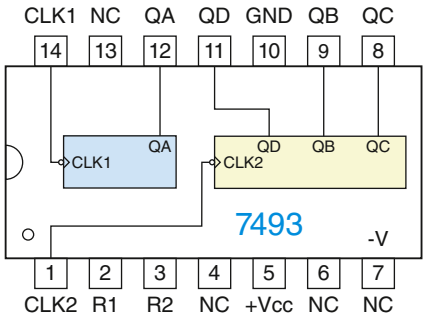



**Figura 10.48.** Pineado del circuito integrado 7493.

### 3.3.4. Contador asíncrono binario 7493

El integrado 7493 es un contador binario asíncrono de 4 bits, con dos partes bien diferenciadas. Por un lado, un contador de 1 bit, con su propia entrada de reloj CLK1, y por otro, un contador de 3 bits, con otra entrada de reloj diferente CLK2. Ambos pueden ser utilizados de forma independiente, o de forma conjunta, para hacer un contador de 4 bits. En este caso, se conecta en cascada la salida del contador de 1 bit a la entrada CLK del contador de 3 bits, como se muestra en la siguiente figura.

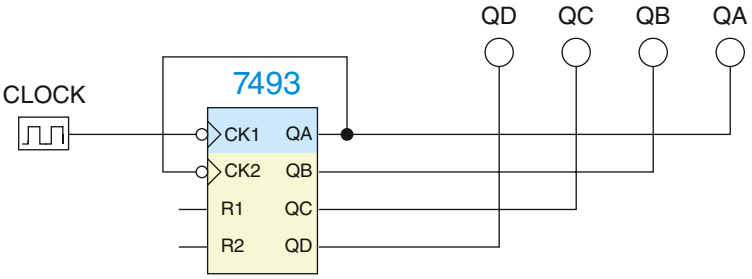



**Figura 10.49.** Contador binario de 4 bits con 7493.

Además, dispone de dos entradas para resetear el contador, las cuales deben activarse a la vez con nivel lógico alto.

## Actividades

**9.** Utilizando un *software* de simulación electrónica, comprueba el funcionamiento del contador síncrono de la figura 10.47.

### 3.3.5. Contador 74191

El integrado 74191 es un contador síncrono ascendente/descendente de 4 bits configurable. Dispone de interesantes funcionalidades, como, por ejemplo, cargar un número desde el que comenzar el cómputo, mediante los terminales LOAD. No obstante, aquí solamente se estudiará su configuración básica para ser utilizado como contador síncrono binario ascendente y descendente.

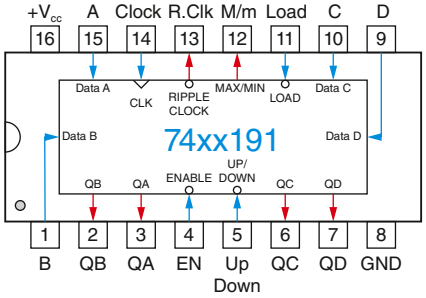



**Figura 10.50.** Pineado del circuito integrado 74xx191.

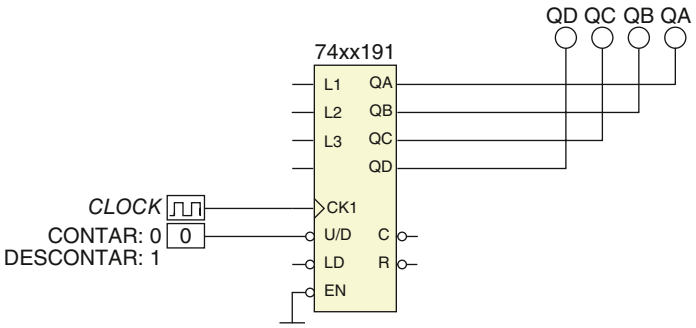



**Figura 10.51.** Configuración básica para contar y descontar con un integrado 74xx191.

### 3.3.6. Contador decimal 4026 con salida para segmentos LED

El integrado CMOS modelo 4026 es un contador decimal que dispone de un codificador para controlar directamente *displays* de 7 segmentos LED, sin necesidad de utilizar ningún circuito intermedio.

Cuando en la entrada CLK se detecta un flanco positivo, las salidas de la A a la G activan los segmentos LED correspondientes del *display*, mostrando el número directamente en decimal.

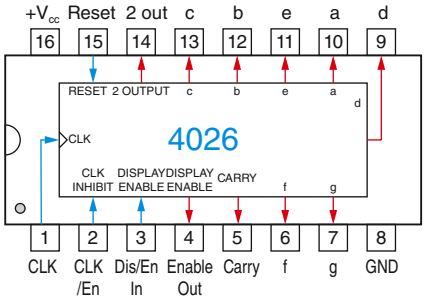



**Figura 10.52.** Pineado del integrado 4026.

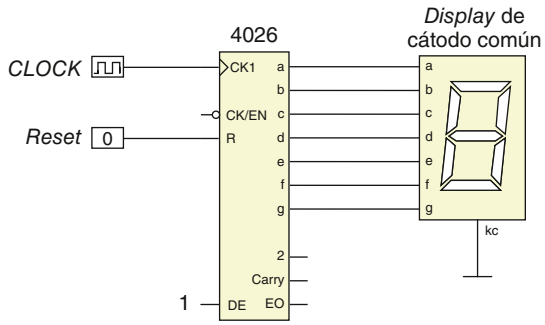



**Figura 10.53.** Control de un *display* con el circuito integrado 4026.

Además, dispone de una salida (pin 14) para acarrear el resultado y así poderse sincronizar con otros integrados del mismo tipo y formar números de dos o más cifras.

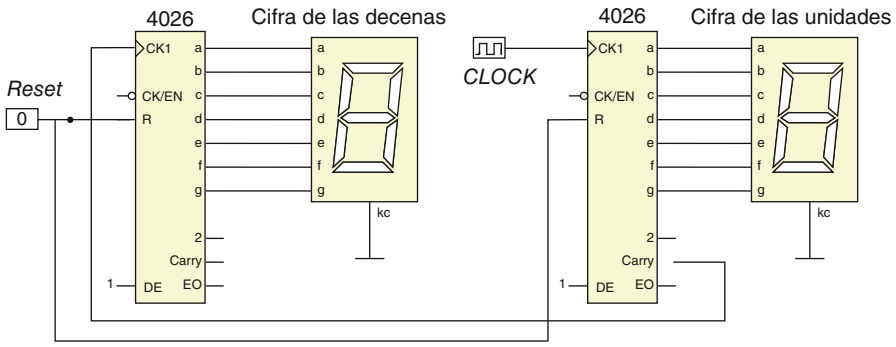



**Figura 10.54.** Conexión de dos CI 4026 para formar números de dos cifras.

## Actividades

**10.** Utilizando un *software* de simulación electrónica, comprueba el funcionamiento del contador de dos cifras de la figura 10.54.

# PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA

## Herramientas

- Tijeras
- Pinzas
- Alicates

## Material

- Placa de prototipos
- Cablecillos para placa de prototipos
- Dos resistencias de 10 kΩ
- Cuatro resistencias de 220 Ω o 1 K
- Cuatro diodos LED rojos
- Un circuito integrado 4069 o 7404
- Un circuito integrado 4081 o 7408
- Dos pulsadores para placa de circuito impreso
- Una fuente de alimentación ajustable

# Comprobación de un decodificador de 2 entradas 4 salidas

## Objetivo

Comprobar el funcionamiento de un circuito decodificador construido con puertas lógicas.

## Precauciones

- Consultar la hoja de características de los integrados que se van a utilizar.
- Si se utilizan circuitos integrados TTL (74xx), el circuito debe ser alimentado por una fuente de tensión de 5 $V_{DC}$ como máximo.
- Si se utilizan circuitos integrados CMOS (40xx), el circuito puede ser alimentado hasta con una tensión de 18 $V_{DC}$.
- Alimentar los circuitos integrados por los terminales que se indican en su hoja de características.

## Desarrollo

1. Estudia el esquema que vas a montar del decodificador de 2 entradas a 4 salidas.

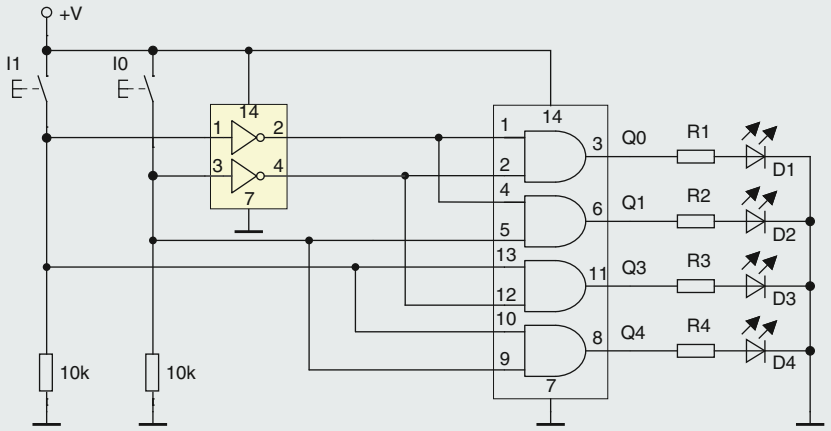



**Figura 10.55.** Esquema del decodificador para montar.

2. Decide qué tecnología vas a utilizar para los circuitos integrados (CMOS o TTL) y, por tanto, la tensión de alimentación del circuito y el valor para dicha tensión de las resistencias de polarización de los LEDs.

| Tecnología | TTL | CMOS |
|---|---|---|
| Tensión de alimentación | 5 V | 12 V |
| CI Puertas inversoras | 7404 | 4069 |
| CI Puertas AND | 7408 | 4081 |
| Resistencias de los LED (de R1 a R4) | 220 Ω | 1 kΩ |

**Tabla 10.10.** Tecnología y valores para utilizar.

3. Consulta la hoja características de los circuitos integrados y asegúrate de que el patillaje mostrado en el esquema corresponde con los componentes que vas a utilizar.

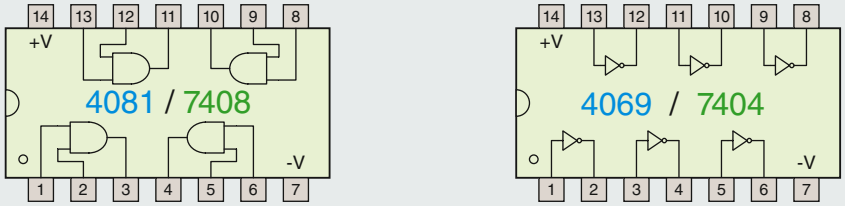



**Figura 10.56.** Pineado de los posibles circuitos integrados para utilizar.

4. Monta todos los componentes en la placa de prototipos.
5. Realiza el cableado entre ellos siguiendo el esquema. Ten en cuenta la polaridad de los LEDs y los terminales para alimentar los dos circuitos integrados.

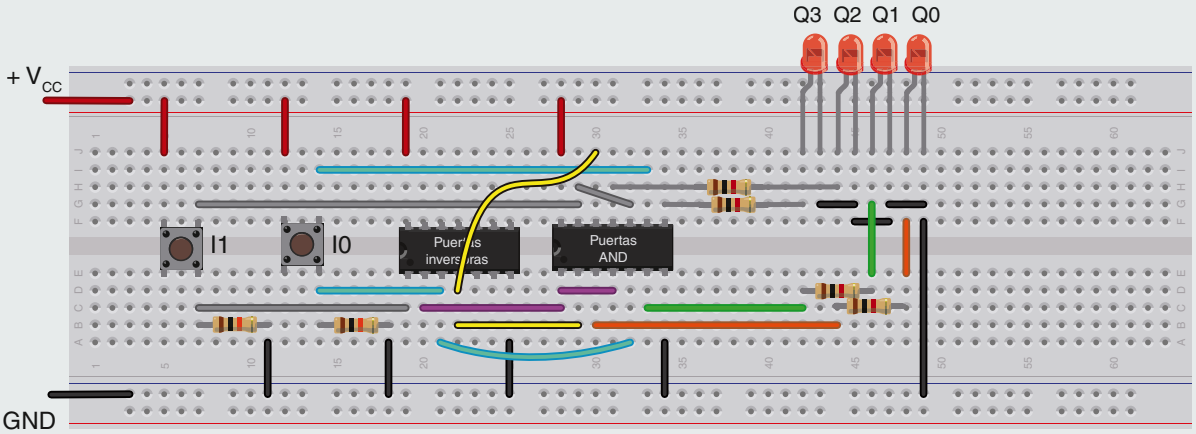



**Figura 10.57.** Montaje del circuito en una placa de prototipos (dibujado con Fritzing).

6. Alimenta el circuito con la tensión adecuada. Es decir, 5 V si has utilizado circuitos integrados TTL, y 12 V si son CMOS.
7. Acciona manualmente los pulsadores siguiendo el orden de la tabla de la verdad y comprueba que se enciende el LED correspondiente.

| | Entradas | | Salida | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Número | I1 | I0 | Q3 | Q2 | Q1 | Q0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |

**Tabla 10.11.** Tabla de la verdad.

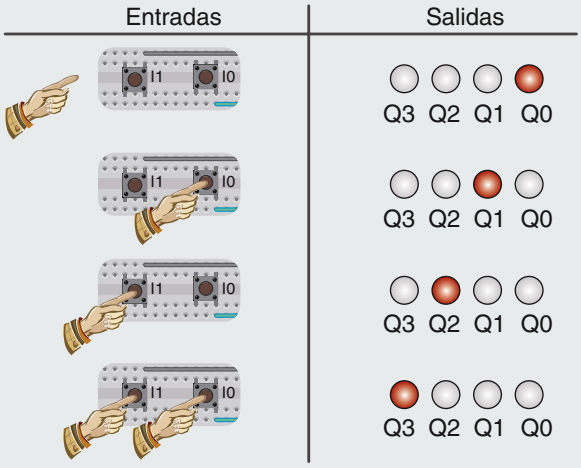



**Figura 10.58.** Comprobación del circuito.

# TEST DE EVALUACIÓN

RESUELVE EN TU CUADERNO O BLOC DE NOTAS

1. **Se puede decir que un circuito secuencial es:**
   a) Un cronograma.
   b) Un circuito con memoria.
   c) Un circuito en el que las salidas dependen exclusivamente de las entradas.
   d) Un codificador.

2. **Si un codificador tiene 4 salidas, dispondrá de:**
   a) 4 entradas.
   b) 4 señales de selección.
   c) 16 entradas.
   d) 8 entradas.

3. **La entrada *enable* de un circuito integrado sirve:**
   a) Para poner a 1 lógico todas las salidas.
   b) Para deshabilitar el funcionamiento del circuito.
   c) Para comprobar si las salidas son correctas.
   d) Para resetear determinadas salidas del integrado.

4. **Un flaco positivo es una señal de que:**
   a) Está siempre a nivel alto.
   b) Está siempre a nivel bajo.
   c) Pasa de nivel alto a nivel bajo.
   d) Pasa de nivel bajo a nivel alto.

5. **Un multiplexor es similar a:**
   a) Un conmutador de varias líneas de entrada a una sola salida.
   b) Un conmutador de una entrada a varias líneas de salida.
   c) Un codificador de código.
   d) Un biestable.

6. **Un biestable asíncrono:**
   a) Depende de una señal de reloj.
   b) Depende de un tren de pulsos.
   c) Es un circuito en el que el tren de pulsos depende exclusivamente de su salida.
   d) No necesita señales de reloj.

7. **Si un componente electrónico dispone de una entrada denominada CLK, estamos hablado de:**
   a) Una entrada de activación.
   b) Una entrada de habilitación.
   c) Una entrada de tren de pulsos.
   d) Una entrada configurable.

8. **¿Cuál de estos componentes no es un biestable?**
   a) RS.
   b) JK.
   c) XOR.
   d) D.

9. **¿Cuántos biestables son necesarios para construir un contador asíncrono de 3 bits?**
   a) Siempre uno menos que el número de bits.
   b) El mismo número de bits.
   c) El doble del número de bits.
   d) Ninguno, ya que los contadores no se construyen con biestables.

10. **Los circuitos integrados digitales que comienzan con el número 40xx:**
    a) Son combinacionales.
    b) Se pueden alimentar con más de 5 V.
    c) Su tensión máxima de trabajo es de 5 V.
    d) Son secuenciales.

# ACTIVIDADES FINALES

**1.** Dibuja en tu cuaderno de trabajo la señal de salida de estos cronogramas, sabiendo que el de la izquierda es para la función OR de 2 entradas y el de la derecha para la función XOR, también de 2 variables de entrada.

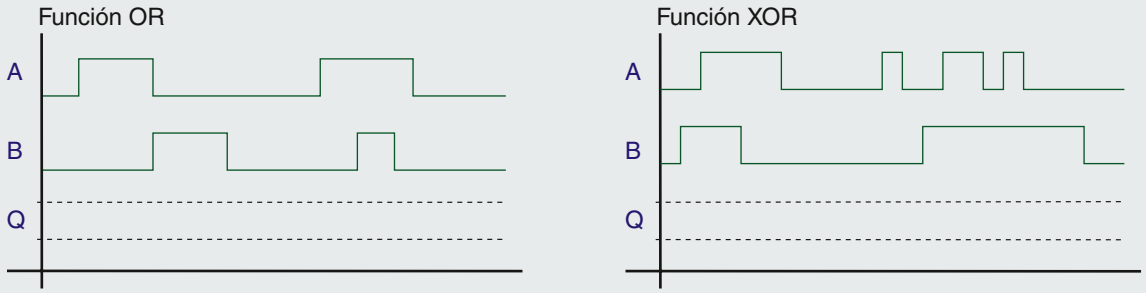



**Figura 10.59.** Señales de entrada.

**2.** Monta sobre una placa de prototipo, o un entrenador digital, un codificador con prioridad de 8 líneas de entrada a 3 de salida, con el circuito integrado 74148, y comprueba su funcionamiento.

Observa: como el circuito integrado tiene negadas tanto las entradas como las salidas, se han conectado en las entradas los pulsadores mediante resistencias *pull-up*, y en las salidas se han utilizado tres puertas inversoras.

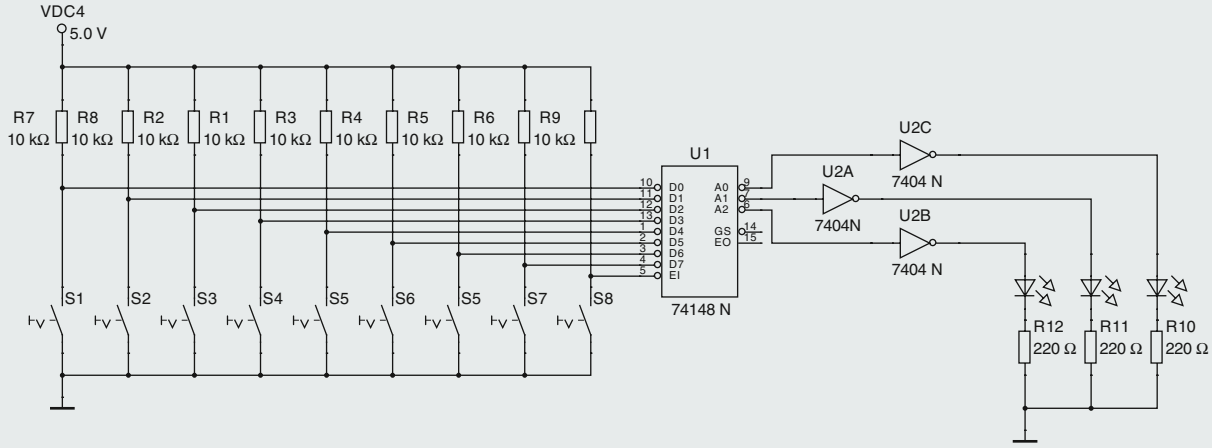



**Figura 10.60.** Circuito de un codificador de 8 entradas a 3 salidas con 74148.

**3.** Monta sobre una placa de prototipos el circuito decodificador 7447 para activar un *display* de ánodo común. Codifica en BCD las señales de entrada y comprueba que en el *display* se obtiene el resultado deseado.

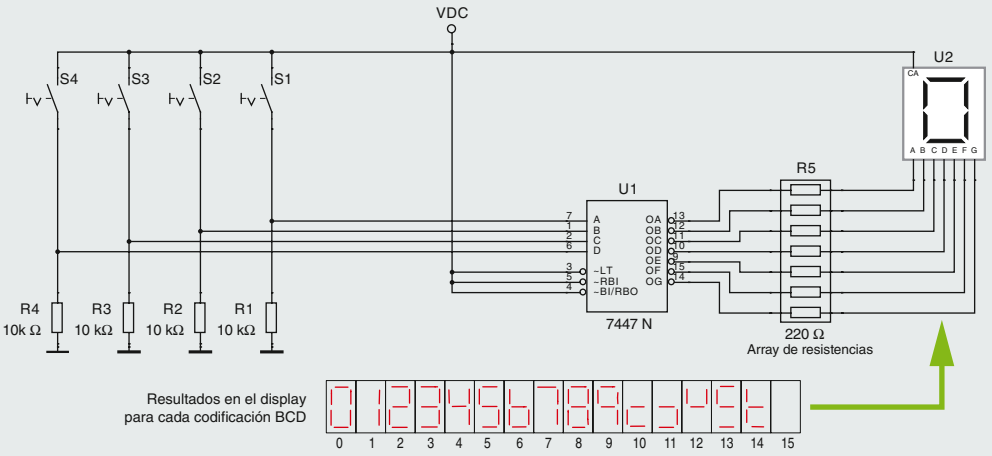



**Figura 10.61.** Circuito con decodificador BCD 7447.

# ACTIVIDADES FINALES

**4.** Utilizando un *software* de simulación electrónica, dibuja el circuito correspondiente a las siguientes ecuaciones lógicas con realimentación y comprueba su funcionamiento.

$$1)\ Q1 = (A + Q1) \cdot \overline{B} \qquad 2)\ Q1 = (A + C + Q1) \cdot \overline{B} \cdot \overline{D}$$

**5.** Utilizando el circuito integrado 4043, monta en una placa de prototipos el circuito que permita controlar un LED con uno de los biestables RS que hay en su interior. Para ello, debes conectar un pulsador a la entrada S y otro a la entrada R. Dibuja en tu cuaderno de trabajo el pineado del circuito integrado y el esquema completo del circuito. Comprueba el funcionamiento con tu compañero de mesa.

**6.** Simula el circuito un multiplexor basado en puertas lógicas, con 4 entradas de datos, controladas con dos entradas de selección. Aplica valores lógicos a los interruptores de entrada, y comprueba que el dato es transferido a la salida, cuando se codifica el número adecuado en las entradas S1 y S2.

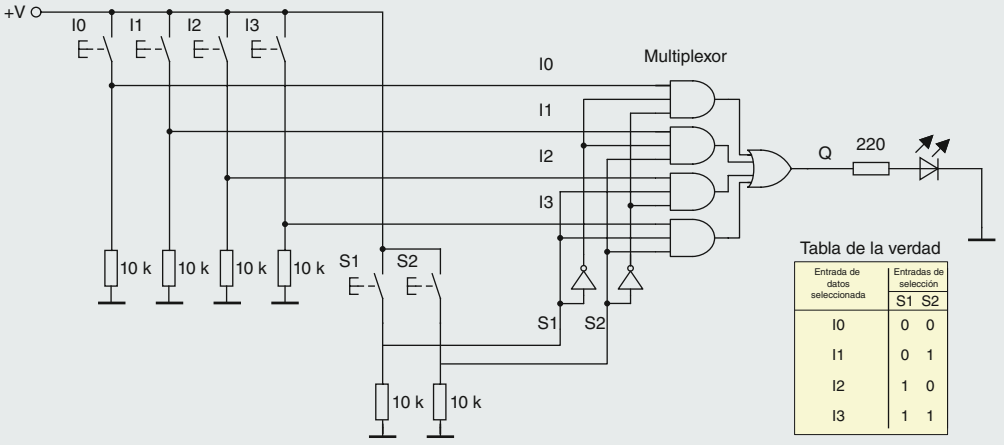



**Figura 10.62.** Multiplexor con puertas lógicas para simular.

**7.** Simula el funcionamiento de un biestable J-K, como el mostrado en la figura, y prueba lo siguiente:

- Pon momentáneamente a 1 la entrada J. Haz lo mismo con la entrada K.
- ¿Qué ocurre si J y K están a 1 a la vez? Disminuye la frecuencia del reloj (por ejemplo, 1 Hz) y obsérvalo con detenimiento.
- Estando J y K a 0, pon momentáneamente a 1 la señal de entrada PR. Haz lo mismo con la señal de entrada CLR. ¿Qué similitudes y deferencias hay respecto a las entradas J y K?

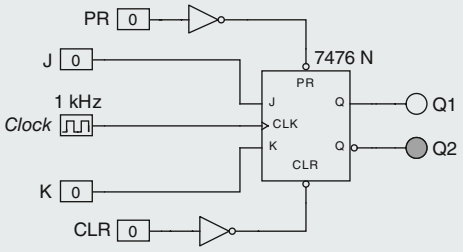



**Figura 10.63.** Simulación de un biestable JK.

**8.** Basándote en la experiencia de la actividad anterior, simula de igual forma el funcionamiento de los biestables D y T.

**9.** Monta (o simula) el circuito de la figura, basado en un circuito de reloj con un circuito integrado 555 y el contador secuencial 4017. Comprueba lo que ocurre con los LEDs cuando se actúa sobre el potenciómetro.

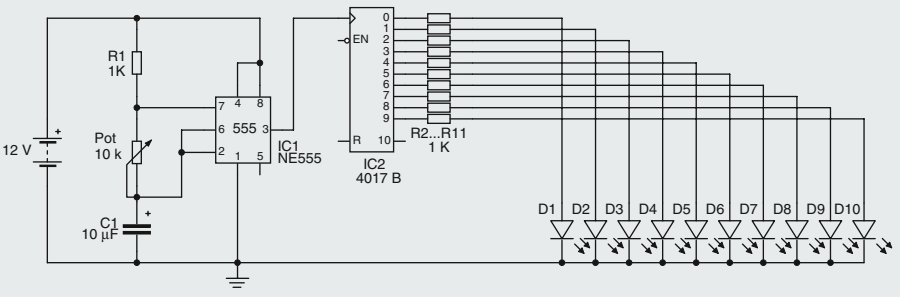



**Figura 10.64.** Circuito contador secuenciador de luces.

# PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 1

## Herramientas

- Tijeras
- Pinzas
- Alicates

## Material

- Placa de prototipos
- Cablecillos para placa de prototipos
- Una resistencia de 10 kΩ
- Dos resistencias de 220 Ω o 1k
- Dos diodos LED rojos
- Un circuito integrado con biestables JK (ver modelos del desarrollo)
- Un pulsador para placa de circuito impreso
- Una fuente de alimentación regulable
- Opcionales:
  - Condensador de 47 uF
  - Circuito integrado con puertas inversoras Schmitt (leer el desarrollo)

# Comprobación de un contador asíncrono de 2 bits

## Objetivo

- Montar y probar el funcionamiento un contador asíncrono de 2 bits.
- Utilizar circuitos integrados con biestables JK.

## Precacuciones

- Utilizar un circuito antirrebote para el pulsador.
- Identificar los pines de los circuitos integrados que se van a utilizar, ya que una mala conexión puede dañarlos de forma irremediable.

## Desarrollo

1. Estudia el esquema que se va a montar.

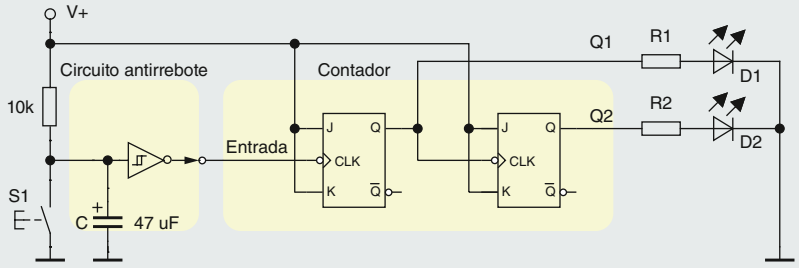



**Figura 10.65.** Circuito para montar de un contador de 2 bits con biestables JK.

2. Elige un circuito integrado que disponga de 2 biestable J-K. Estos son algunos modelos que puedes utilizar:

| TTL | CMOS |
|---|---|
| 74LS112 | 4027 |
| 74LS76 | |

**Tabla 10.12.** Tabla de circuitos integrados.

**Recuerda** que los circuitos integrados TTL trabajan con una tensión máxima de 5 V, y que los CMOS permiten hasta 18 V.

Puedes elegir otros modelos que existan en el mercado para dicha funcionalidad, pero debes asegurarte de que los biestables se disparan por flanco negativo, ya que es como se encuentra representado en el esquema.

3. Si no dispones de un entrenador de electrónica digital con pulsadores antirrebote, debes construir tu propio circuito para solucionar este problema. Para ello, puedes utilizar puertas inversoras Schmitt. En CMOS está el 40106 y en TTL el 7414.
4. Los diodos LED deben ser polarizados por resistencias de 220 Ω si el circuito es alimentado con 5 V, o con resistencias de 1 kΩ si se alimenta con 12 V.

# PRÁCTICA PROFESIONAL PROPUESTA 2

## Herramientas

- Tijeras
- Pinzas
- Alicates

## Material

- Placa de prototipos
- Cablecillos para placa de prototipos
- Dos resistencia de 10 kΩ
- Siete resistencias de 1 kΩ
- Un *display* de 7 segmentos con cátodo común
- Un circuito integrado 4026
- Dos pulsadores para placa de circuito impreso
- Una fuente de alimentación de 12 $V_{DC}$
- Opcionales:
  - Condensador de 47 uF
  - Inversoras Schmitt 40106

# Contador para *display* de 7 segmentos LED

## Objetivo

Utilizar un circuito integrado con un contador con salidas para controlar un *display* de 7 segmentos LED.

## Precacuciones

- Si no se dispone de un entrenador de electrónica digital con pulsadores antirrebote, es necesario construir uno propio para solucionar este problema.
- Utilizar un *display* con cátodo común.

## Desarrollo

1. Estudia el esquema que vas a montar. En él se observa que el pulsador utilizado para incrementar el cómputo (Cnt), aplica la señal al contador a través de un circuito antirrebote basado en un inversor Schmitt. Para su montaje, consulta la información de la práctica profesional 1 de esta unidad.

   El pulsador *reset* permite poner a cero el contador. En el esquema, se observa que la señal de este pulsador se aplica a través de una puerta inversora también. Esto podría evitarse si el pulsador estuviese configurado con una resistencia *pull-down;* no obstante, aquí se mantiene esta configuración para que ambos pulsadores apliquen la señal lógica con la misma configuración.

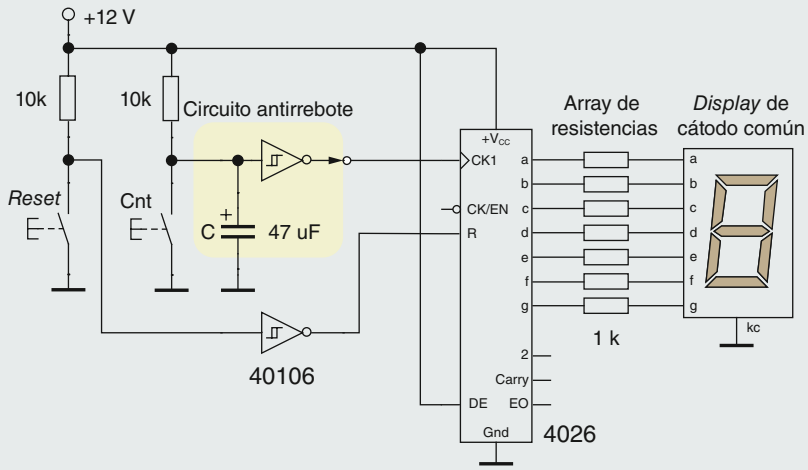


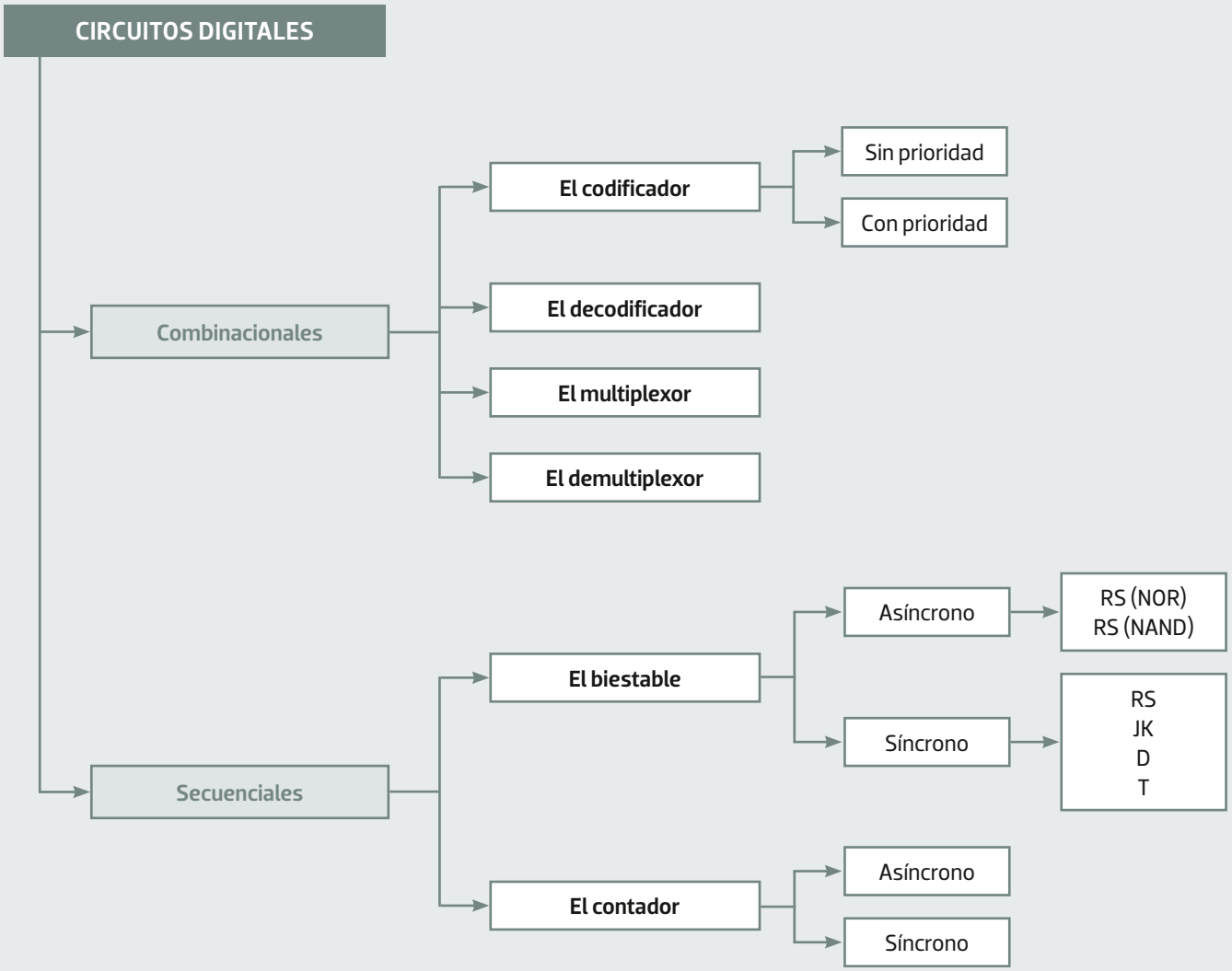

**Figura 10.66.** Contador asíncrono con salida para 7 segmentos LED.

2. Descarga de internet la hoja de características del integrado 4026 y consulta su pineado.

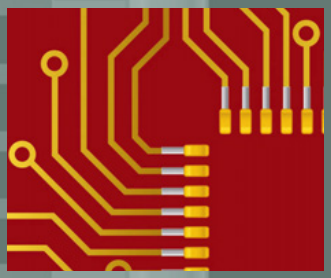
   Nota: existen otros modelos de CI con funcionalidad parecida. Si usas cualquiera de ellos, es necesario adaptar el circuito, tanto en tensiones de trabajo como en la polarización de sus terminales.

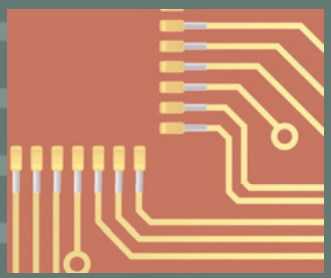
3. Monta el circuito sobre una placa de prototipos y prueba su funcionamiento.

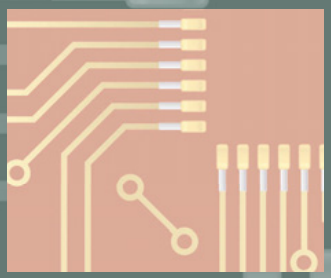
# EN RESUMEN


CIRCUITOS DIGITALES
Combinacionales
El codificador
Sin prioridad
Con prioridad
El decodificador
El multiplexor
El demultiplexor
Secuenciales
El biestable
Asíncrono
RS (NOR)
RS (NAND)
Síncrono
RS
JK
D
T
El contador
Asíncrono
Síncrono

# Anexo







## A Tablas de referencia y fabricación de un circuito impreso

1. Series de resistencias
2. Identificación de resistencias SMD
3. Fabricación de placas de circuito impreso
4. *Software* de simulación electrónica
5. Identificación de los semiconductores por su código
6. Valores comerciales de los diodos Zener

# TABLAS de referencia y fabricación de un circuito impreso

## 1. Series de resistencias

Las resistencias de carbón se fabrican por series en función de su tolerancia.

Estas series se identifican con la letra E y un número. En la siguiente tabla se muestran las series más utilizadas.

Tolerancias de las series: E6: 20 %, E12: 10 %, E24: 5 % y E48: 2 %

| Valores en Ω, KΩ y MΩ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E6 | 1.0 | | | | 1.5 | | | | 2.2 | | | | 3.3 | | | | 4.7 | | | |
| E12 | 1.0 | | 1.2 | | 1.5 | | 1.8 | | 2.2 | | 2.7 | | 3.3 | | 3.9 | | 4.7 | | 5.6 | | 6.8 | | 8.2 | |
| E24 | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.5 | 1.6 | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.4 | 2.7 | 3.0 | 3.3 | 3.6 | 3.9 | 4.3 | 4.7 | 5.1 | 5.6 | 6.2 | 6.8 | 7.5 | 8.2 | 9.1 |
| E48 | 1.0 | | 1.05 | | 1.10 | | 1.15 | | 1.21 | | 1.27 | | 1.33 | | 1.40 | | 1.47 | | 1.54 | | 1.62 | | 1.69 | |
| | 1.78 | | 1.87 | | 1.96 | | 2.05 | | 2.15 | | 2.26 | | 2.37 | | 2.49 | | 2.61 | | 2.74 | | 2.87 | | 3.01 | |
| | 3.16 | | 3.32 | | 3.48 | | 3.65 | | 3.83 | | 4.02 | | 4.22 | | 4.42 | | 4.64 | | 4.87 | | 5.11 | | 5.36 | |
| | 5.62 | | 5.90 | | 6.19 | | 6.49 | | 6.81 | | 7.15 | | 7.50 | | 7.87 | | 8.25 | | 8.66 | | 9.09 | | 9.53 | |

**Tabla A.1.** Valores de las series de resistencias.

Por ejemplo, no existe un valor comercial de 1900 Ω para una tolerancia del 10 % (serie E12), pero sí se fabrican resistencias de 1800 Ω y de 2200 Ω en dicha serie.

El número de bandas de colores también es diferente en función de la serie de fabricación.

Por ejemplo, una resistencia de la serie E48 tiene cinco bandas de colores, y una de la E12 solamente tiene cuatro.

Existen otras series para usos muy específicos y fabricación de resistencias de precisión: E96 (0,5 %) y E192 (0,255 %, 0,01 % y 0,05 %).

## 2. Identificación de resistencias SMD

De igual forma que otros tipos de resistencias de mayor tamaño, las resistencias SMD o de instalación en superficie utilizan diferentes métodos para codificar su valor. A continuación se muestran tres de ellos.

### 2.1. Codificación por tres cifras

Son resistencias con una tolerancia del 5 %. En el cuerpo aparecen tres números, que, de izquierda a derecha, representan las dos primeras cifras del valor y el multiplicador o número de ceros que se deben añadir a la cifra resultante.

**Figura A.1.** Ejemplos de resistencias SMD de tres cifras.

### 2.2. Codificación por cuatro cifras

Son resistencias con una tolerancia del 1 %. En este caso los tres primeros números corresponden a las tres primeras cifras del valor resultante y el cuarto es el multiplicador o número de ceros que se deben añadir.

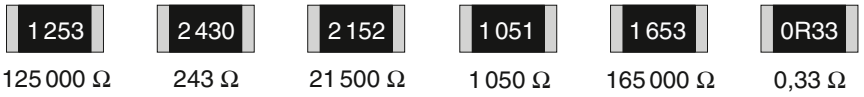



**Figura A.2.** Ejemplos de resistencias SMD de 4 cifras.

## 2.3. Codificación EIA-96

En este caso, la codificación se representa con dos números y una letra. El código de dos números tiene su equivalente en ohmios (Ω), según se indica en la siguiente tabla. La letra es el multiplicador.

| Cód. | Valor | Cód. | Valor | Cód. | Valor | Cód. | Valor | Cód. | Valor | Cód. | Valor | Cód. | Valor | Cód. | Valor |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 01 | 100 | 13 | 133 | 25 | 178 | 37 | 237 | 49 | 316 | 61 | 422 | 73 | 562 | 85 | 750 |
| 02 | 102 | 14 | 137 | 26 | 182 | 38 | 243 | 50 | 324 | 62 | 432 | 74 | 576 | 86 | 768 |
| 03 | 105 | 15 | 140 | 27 | 187 | 39 | 249 | 51 | 332 | 63 | 442 | 75 | 590 | 87 | 787 |
| 04 | 107 | 16 | 143 | 28 | 191 | 40 | 255 | 52 | 340 | 64 | 453 | 76 | 604 | 88 | 806 |
| 05 | 110 | 17 | 147 | 29 | 196 | 41 | 261 | 53 | 348 | 65 | 464 | 77 | 619 | 89 | 825 |
| 06 | 113 | 18 | 150 | 30 | 200 | 42 | 267 | 54 | 357 | 66 | 475 | 78 | 634 | 90 | 845 |
| 07 | 115 | 19 | 154 | 31 | 205 | 43 | 274 | 55 | 365 | 67 | 487 | 79 | 649 | 91 | 866 |
| 08 | 118 | 20 | 158 | 32 | 210 | 44 | 280 | 56 | 374 | 68 | 499 | 80 | 665 | 92 | 887 |
| 09 | 121 | 21 | 162 | 33 | 215 | 45 | 287 | 57 | 383 | 69 | 511 | 81 | 681 | 93 | 909 |
| 10 | 124 | 22 | 165 | 34 | 221 | 46 | 294 | 58 | 392 | 70 | 523 | 82 | 698 | 94 | 931 |
| 11 | 127 | 23 | 169 | 35 | 226 | 47 | 301 | 59 | 402 | 71 | 536 | 83 | 715 | 95 | 953 |
| 12 | 130 | 24 | 174 | 36 | 232 | 48 | 309 | 60 | 412 | 72 | 549 | 84 | 732 | 96 | 976 |

**Tabla A.2.** Codificación EIA-96.

Multiplicador:

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $S = 10^{-2}$ | $R = 10^{-1}$ | $A = 10^{0}$ | $B = 10^{1}$ | $C = 10^{2}$ | $D = 10^{3}$ | $E = 10^{4}$ | $F = 105$ |

Ejemplos:

| | | | |
|---|---|---|---|
| **43B** = 2740 Ω | **70A** = 523 Ω | **59E** = 4 020 000 Ω | **96R** = 97,6 Ω |

# 3. Fabricación de una placa de circuito impreso

La fabricación industrial de placas de circuito impreso (PCB) se realiza mediante equipos muy sofisticados, a partir de diseños realizados con ordenador. No obstante, existen técnicas manuales que permiten la construcción de placas PCB de una forma sencilla y rápida, que no requieren complejos y caros sistemas de fabricación, y que, aunque no tienen acabados tan profesionales, se adaptan perfectamente a la experimentación de técnicos noveles.

**Figura A.3.** Placa de circuito impreso virgen de una cara.

## 3.1. Fabricación manual mediante rotulador permanente

La placa está constituida por un material aislante, normalmente baquelita o fibra de vidrio, y una capa de cobre.

Las pistas de conexión entre componentes se crean eliminando el cobre sobrante mediante procedimientos químicos o mediante devastado.

### 3.1.1. Diseño de la disposición de los componentes

El primer paso es dibujar la disposición de los componentes sobre la placa de circuito impreso, representando el espacio que van a ocupar y el lugar en el que se insertarán sus terminales. Esta representación se puede hacer a mano sobre un papel milimetrado, o utilizando algún *software* de diseño gráfico.

Es importante identificar cada uno de los elementos con la denominación que tiene en el esquema, marcar la polaridad de aquellos que lo requieran y asegurarse de que tienen las dimensiones reales.

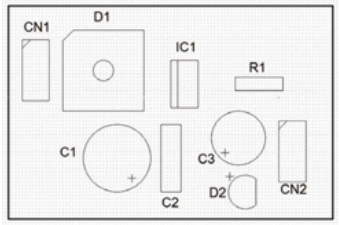



**Figura A.4.** Representación de la disposición de componentes.

### 3.1.2. Creación del fotolito de pistas de forma manual

Coloca papel transparente (vegetal o seda) sobre el diseño del paso anterior y, con un lapicero, realiza la conexión entre componentes según el esquema. De esta forma, se obtiene el fotolito positivo.

El diseño de las pistas de la placa de circuito impreso suele conocerse como **enrutado** o por su denominación inglesa: ***route***.

Las pistas no deben cruzarse entre sí y, si en alguna ocasión no se encuentran huecos para su representación, se debe recurrir a realizar puentes o *jumpers*.

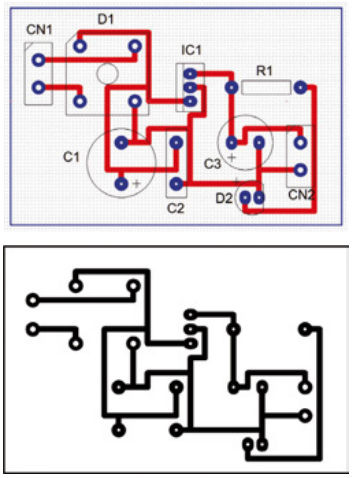



**Figura A.5.** Representación de las pistas por el lado de los componentes, y fotolito positivo.

### 3.1.3. Fijación del fotolito por el lado del cobre

El fotolito resultante del paso anterior es la representación de las pistas del lado de los componentes. Como el diseño de las pistas debe hacerse por el lado del cobre, es necesario girar el fotolito, para así obtener su negativo.

Gira el fotolito, colócalo por el lado del cobre y sujétalo con celo para evitar que se mueva en el marcaje de los orificios. Es fundamental no olvidar invertir el fotolito para colocarlo sobre el lado del cobre.

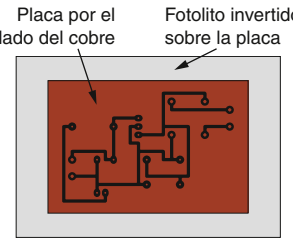



**Figura A.6.** Fotolito sobre la placa del lado del cobre.

### 3.1.4. Taladrado de orificios

Con el fotolito sobre la placa de circuito impreso, marca los puntos de los *pads*. Para ello coloca un granete o puntero pequeño en cada uno de ellos y golpea suavemente con un martillo dejando una ligera marca en el cobre.

Marca también cuatro puntos en las esquinas de la placa, para su posterior fijación a la caja o chasis.

Con un minitaladro de sobremesa y utilizando brocas de 1 o 1,5 mm, dependiendo del grosor de los terminales de los componentes, perfora todos los puntos marcados.

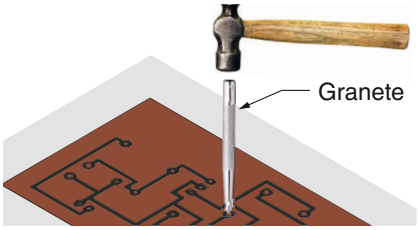



**Figura A.7.** Uso del granete para marcar orificios.

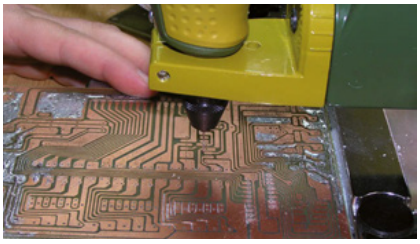


**Figura A.8.** Taladrado de una placa de circuito impreso.

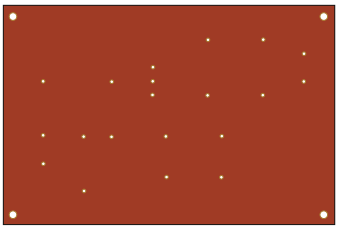


**Figura A.9.** Placa completamente taladrada.

### 3.1.5. Representación de las pistas en el lado del cobre

Utilizando una lija de grano fino, elimina las marcas y rebabas que hay en el lado del cobre tras la operación de taladrado.

Después de lijar no es aconsejable tocar el lado del cobre con la mano, ya que dejaría huellas que dificultarían el posterior tratamiento químico de la placa.

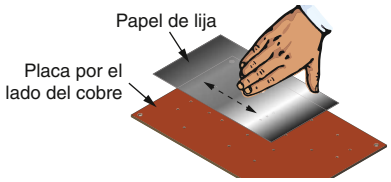



**Figura A.10.** Operación de lijado sobre el lado del cobre.

### 3.1.6. Representación de las pistas en la placa

Con un rotulador permanente marca los *pads* y las pistas en el lado del cobre de la placa. El rotulador se debe pasar varias veces por cada tramo y siempre en el mismo sentido, ya que un movimiento de vaivén puede retirar la tinta que ya se había aplicado.

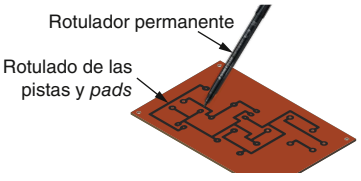



**Figura A.11.** Dibujo de las pistas con rotulador permanente.

### 3.1.7. Tratamiento químico

El tratamiento químico de la placa permite eliminar el cobre sobrante que no se ha marcado con el rotulador. Para esta operación, pueden utilizarse diferentes productos químicos. Aquí vamos a utilizar el cloruro férrico, ya que aporta bastante seguridad respecto a otros como la sosa cáustica.

El cloruro férrico suele comercializarse en formato sólido. Debe disolverse en agua en las proporciones que indique el fabricante. Utiliza una cubeta o bandeja de plástico con suficiente profundidad para evitar que se derrame. Una vez que el cloruro férrico se ha disuelto por completo en el agua, introduce la placa de circuito impreso en la cubeta. Con unas pinzas o un hilo de cobre esmaltado atado en alguno de los orificios anteriormente realizados, mueve de forma continuada para acelerar el proceso.

Observa la placa de vez en cuando y sácala cuando el cobre que no está bajo el rotulador se ha eliminado completamente. En esta operación también se debe evitar tocar el cobre con los dedos. Cuando esté lista, limpia la placa poniéndola bajo un chorro de agua, y elimina los restos de rotulador mediante un estropajo. De esta forma, la placa de circuito impreso estará preparada para utilizarse.

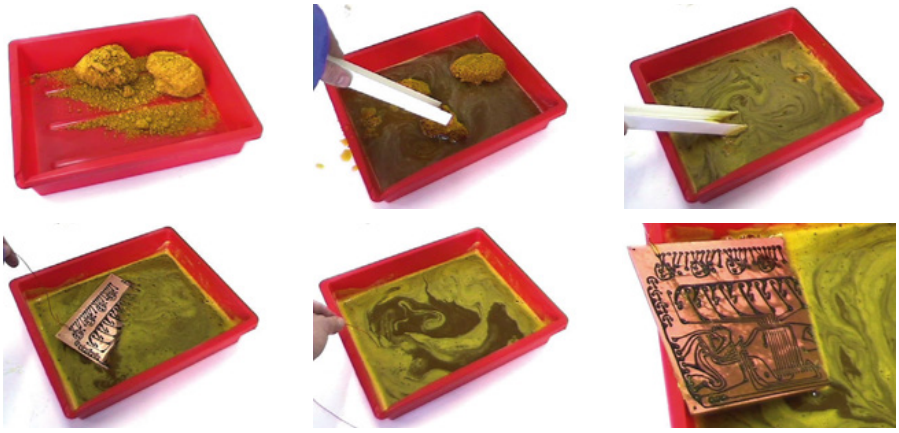


**Figura A.12.** Proceso de fabricación de una placa con cloruro férrico (cortesía proyecto REESS).

### 3.1.8. Soladura de componentes

Por último, inserta las patillas de los componentes en los orificios, respetando su polaridad, y suéldalos en este orden:

1. Zócalos de circuitos integrados.
2. Bornes y espadines.
3. Resistencias.
4. Condensadores.
5. Componentes activos: diodos, transitares, integrados sin zócalo, etc.

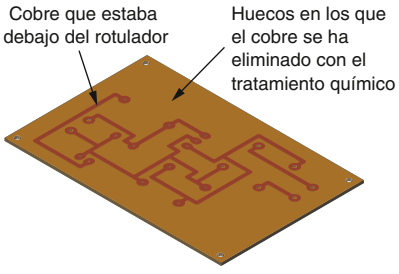



**Figura A.13.** Placa de circuito impreso completamente terminada.

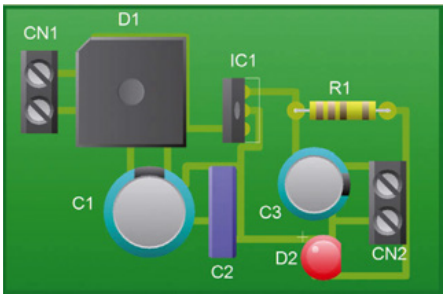



**Figura A.14.** Colocación de los componentes.

## 3.2. Fabricación mediante el método de insolación

Otro método para la fabricación de circuitos impresos consiste en utilizar una placa de circuito impreso fotosensible.

Para ello hay que seguir los mismos pasos que el método del «rotulador» permanente, pero procediendo de la siguiente forma para crear el fotolito, antes de realizar el taladrado de orificios.

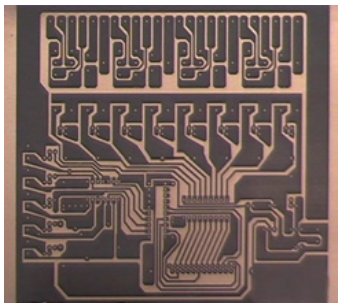
1. Con un *software* de diseño PCB, imprime el lado de las pistas a tamaño real, en una transparencia. Es importante imprimir el fotolito con las pistas invertidas, o en modo espejo, para colocarlo del lado del cobre.
2. Coloca la transparencia de fotolito del lado fotosensible de la placa.
3. Pon la placa en el interior de la insoladora de forma que la luz UV incida sobre la transparencia y el lado fotosensible de la placa.
4. Espera entre 5 y 7 min hasta que los rayos UV hagan su trabajo en la placa fotosensible.
5. Diluye 10 g de sosa cáustica en 1 L de agua en una cubeta de dimensiones adecuadas.

   **¡Atención!** Es importante que la piel y los ojos no entren en contacto con la mezcla, ya que puede producir graves quemaduras. Es necesario utilizar gafas protectoras para realizar la mezcla y el proceso de revelado.
6. Retira la transparencia de la placa de circuito impreso y sumérgela en la disolución de sosa cáustica.
7. Muévela con unas pinzas de plástico hasta que el cobre sobrante sea eliminado de la palca.
8. Echa un chorro de agua por el lado de las pistas y retira la tinta negra hasta que aparezcan las pistas de cobre. Si es necesario se puede utilizar un papel o un estropajo fino.
9. Con el taladro, realiza los orificios en los *pads*.
10. Inserta los componentes en los orificios y suéldalos por el lado del cobre.

Impresión del fotolito en una transparencia

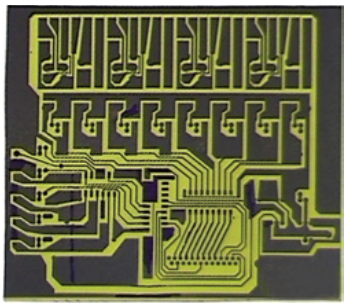
Colocación del fotolito en la insoladora

Colocación de la placa fotosensible sobre fotolito



Placa impresa después de la insolación

Revelado en sosa cáustica



Placa finalizada

**Figura A.15.** Proceso de fabricación mediante el método de insolación (cortesía proyecto RESS).

## 4. *Software* de simulación

En el mercado existen muchísimos programas y aplicaciones realmente útiles para el taller de electrónica. A continuación, se nombran algunos de ellos, todos diseñados como aplicaciones de escritorio para el sistema operativo Windows.

| Software | | Licencia | Diseño | | Simulación | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Esquemas | PCB | Analógica | Digital |
| PROTEUS | Windows | Comercial | Sí | Sí | Sí | Sí |
| MULTISIM (antes ElectronicsWorkbench) | Windows | Comercial | Sí | Sí | Sí | Sí |
| ALTIUM DESIGNER (antes PROTEL) | Windows | Comercial | Sí | Sí | No | No |
| ORCAD (Varios paquetes) | Windows | Comercial | Sí | Sí | Sí | Sí |
| PCB WIZARD + LIVEWIRE | Windows | Comercial | Sí | Sí | Sí | Sí |
| KidCAD | Windows | Gratuito | Sí | Sí | No | No |
| LogicCircuit | Windows | Gratuito | Sí | No | No | Sí |
| FreePCB | Windows | Gratuito | No | Sí | No | No |
| Fritzing | Windows | Gratuito | Sí | Sí | No | No |
| TinyCAD | Windows | Gratuito | Sí | No | No | No |
| Qucs | Windows | Gratuito | Sí | No | Sí | No |
| Micro-Cap | Windows | Gratuito | Sí | No | Sí | Sí |
| RS DesingSpark | Windows | Gratuito | Sí | Sí | No | No |
| SimuladorDigital (0.95 – 0.97) | Windows | Gratuito | No | No | No | Sí |
| Yenka Technology (antes Crocodile Clips) | Windows | Commercial | Sí | Sí | Sí | Sí |
| Circuit Lab | *On-line* | Gratuito | Sí | No | Sí | Sí |
| logic.ly | *On-line* | Gratuito | No | No | No | Sí |
| DC/AC Virtual Lab | *On-line* | Gratuito + comercial | No | No | Sí | No |
| Autodesk Circuits | *On-line* | Gratuito | Sí | Sí | Sí | Sí |

**Tabla A.3.** *Software* de simulación.

La mayoría de estas aplicaciones se pueden descargar de forma gratuita en internet. Las que son de tipo comercial permiten la descarga de versiones de evaluación o con funcionalidad limitada.

# 5. Identificación de los semiconductores por su código

El código alfanumérico que los diodos, transistores y FET tienen serigrafiado en sus encapsulados sirve para identificar el modelo del semiconductor y además especifica una serie de características que pueden ser especialmente interesantes para su correcta elección.

Existen varios estándares definidos según sus lugares de fabricación: Europa, América y Japón.

## 5.1. Estándar europeo Pro Electron

**Formato:** Dos letras, [Letra], número de serie, [sufijo]

| Primera letra (Tipo de material) | Segunda letra (Tipo de dispositivo) | Sufijo |
|---|---|---|
| A: Germanio | A: Diodo de baja potencia o de señal | A: Baja ganancia |
| B: Silicio | B: Diodo de capacitancia variable | B: Media ganancia |
| C: Arseniuro de galio | C: Transistor de frecuencias de audio de baja potencia | C: Alta ganancia |
| R: Materiales compuestos | D: Transistor de frecuencias de audio de potencia | Sin sufijo: No definido |
| | E: Diodo túnel | |
| | F: Transistor de alta frecuencia de baja potencia | |
| | G: Dispositivos de varios tipos | |
| | H: Diodo sensible al magnetismo | |
| | L: Transistor de alta frecuencia de potencia | |
| | N: Optoacoplador | |
| | P: Detector de luz | |
| | Q: Emisor de luz | |
| | R: Dispositivo de conmutación de baja potencia. (Tiristor, uniunión, triac, diac) | |
| | S: Transistor de conmutación de baja potencia | |
| | T: Componente de conmutación, baja potencia | |
| | U: Transistor de conmutación de potencia | |
| | W: Componente de ondas acústicas | |
| | X: Diodo múltiple | |
| | Y: Diodo rectificador | |
| | Z: Diodo de referencia de tensión | |

**Tabla A.4.** Estándar europeo Pro Electron.

## 5.2. JIS coding (sistema japonés)

**Formato:** Dígito, dos letras, número de serie, [sufijo]

| 1.er dígito | Dos letras (tipo de aplicación) |
|---|---|
| **Número de uniones PN:**<br>1: diodo<br>2: transistor<br>3: FET | SA: Transistor PNP HF<br>SB: Transistor PNP AF<br>SC: Transistor NPN HF<br>SD: Transistor NPN AF<br>SE: Diodos SF: Tiristores<br>SG: Dispositivos de disparo<br>SH: UJT SJ: FET/Mosfet de canal-p<br>SK: N-channel FET/Mosfet<br>SM: Triac<br>SQ: LED<br>SR: Rectificadores<br>SS: Diodos de señal<br>ST: Diodos avalancha<br>SV: Varicaps<br>SZ: Diodos Zener |

**Tabla A.5.** Sistema JIS coding.

En este sistema, el sufijo es opcional.

## 5.3. Sistema americano JEDEC

**Formato:** Dígito, letra N, número de serie, [sufijo]

| Digito | Letra | Número de serie | Sufijo |
|---|---|---|---|
| Indica el número de uniones PN. Siempre será un número menos que la cantidad de terminales de que dispone el componente. | Siempre es la letra N. | Número por orden cronológico de fabricación del dispositivo. | A: ganancia baja.<br>B: ganancia media.<br>C: ganancia alta.<br>Sin sufijo: cualquier ganancia. |

**Tabla A.6.** Sistema americano JEDEC.

# 6. Valores comerciales de los diodos ZENER

| 1 W | | 5 W | |
|---|---|---|---|
| Voltaje nominal | Referencia | Voltaje nominal | Referencia |
| 2,7 V | 1N4725 | 3,3 V | 1N5333 |
| 3,3 V | 1N4728 | 3,6 V | 1N5334 |
| 3,6 V | 1N4729 | 3,9 V | 1N5335 |
| 3,9 V | 1N4730 | 4,3 V | 1N5336 |
| 4,3 V | 1N4731 | 4,7 V | 1N5337 |
| 4,7 V | 1N4732 | 5,1 V | 1N5338 |
| 5,1 V | 1N4733 | 5,6 V | 1N5339 |
| 5,6 V | 1N4734 | 6,2 V | 1N5341 |
| 6,2 V | 1N4735 | 6,8 V | 1N5342 |
| 6,8 V | 1N4736 | 7,5 V | 1N5343 |
| 7,5 V | 1N4737 | 8,2 V | 1N5344 |
| 8,2 V | 1N4738 | 9,1 V | 1N5346 |
| 9,1 V | 1N4739 | 10 V | 1N5347 |
| 10 V | 1N4740 | 11 V | 1N5348 |
| 11 V | 1N4741 | 12 V | 1N5349 |
| 12 V | 1N4742 | 13 V | 1N5350 |
| 13 V | 1N4743 | 15 V | 1N5352 |
| 15 V | 1N4744 | 16 V | 1N5353 |
| 16 V | 1N4745 | 18 V | 1N5355 |
| 18 V | 1N4746 | 20 V | 1N5357 |
| 20 V | 1N4747 | 22 V | 1N5358 |
| 22 V | 1N4748 | 24 V | 1N5359 |
| 24 V | 1N4749 | 27 V | 1N5361 |
| 27 V | 1N4750 | 28 V | 1N5362 |
| 30 V | 1N4751 | 30 V | 1N5363 |
| 33 V | 1N4752 | 33 V | 1N5364 |
| 36 V | 1N4753 | 36 V | 1N5365 |
| 39 V | 1N4754 | 39 V | 1N5366 |
| 47 V | 1N4756 | 43 V | 1N5367 |
| 51 V | 1N4757 | 47 V | 1N5368 |
| 56 V | 1N4758 | 51 V | 1N5369 |
| 100 V | 1N4764 | 56 V | 1N5370 |
| | | 60 V | 1N5371 |
| | | 62 V | 1N5372 |
| | | 68 V | 1N5373 |
| | | 75 V | 1N5374 |
| | | 82 V | 1N5375 |
| | | 87 V | 1N5376 |
| | | 91 V | 1N5377 |
| | | 100 V | 1N5378 |
| | | 110 V | 1N5379 |
| | | 120 V | 1N5380 |
| | | 130 V | 1N5381 |
| | | 150 V | 1N5383 |
| | | 160 V | 1N5384 |
| | | 180 V | 1N5386 |
| | | 200 V | 1N5388 |

**Tabla A.7.** Diodos ZENER.

*Redacción y selección de contenidos:* Juan Carlos Martín Castillo

*Edición:* Sergio Nombela

*Coordinación editorial:* Javier Ablanque

*Diseño de colección:* Juan Pablo Rada / Paso de Zebra

*Fotocomposición, maquetación y realización de gráficos:* Discript Preimpresión, S. L.

*Fotografías:* 123RF, autor, Bang good. Com, Chaves, Cree, EPCOS, Faridchild, Fastron, International Rectifier, Mastech, Murata y Conrand, National Instruments, New Wave Concepts, Poweralia, Promax, Radionm, RS-Amidata, Siemens, Sonicolor, ST Microelectronics, Thinkstock y archivo Editex

*Preimpresión:* José Ciria

*Dirección de producción:* Santiago Agudo

*Agradecimientos:* el autor quiere agradecer a Carlos Martín Rico, por su esfuerzo y dedicación para mejorar las ilustraciones y los textos de este libro.

**Editorial Editex, S. A.** ha puesto todos los medios a su alcance para reconocer en citas y referencias los eventuales derechos de terceros y cumplir todos los requisitos establecidos por la Ley de Propiedad Intelectual. Por las posibles omisiones o errores, se excusa anticipadamente y está dispuesta a introducir las correcciones precisas en posteriores ediciones o reimpresiones de esta obra.

El presente material didáctico ha sido creado por iniciativa y bajo la coordinación de Editorial Editex, S. A., conforme a su propio proyecto editorial.

© **Editorial Editex, S. A.**

Vía Dos Castillas, 33. C.E. Ática 7, edificio 3, planta 3ª, oficina B
28224 Pozuelo de Alarcón (Madrid)

ISBN papel: 978-84-9161-003-8

ISBN eBook: 978-84-9161-036-6

ISBN LED: 978-84-9161-069-4

Depósito Legal: M-8979-2017

Imprime: Gráficas Muriel
Impreso en España - *Printed in Spain*

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.